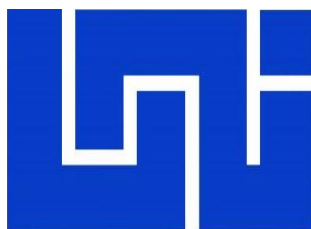


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**Evaluación de los Procesos de Desinfección en Cinco Sistemas
Rurales de Abastecimientos de Agua Potable**

TRABAJO DE DIPLOMA PRESENTADO POR:

Bra. Larissa Pérez González

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO QUIMICO

TUTORA:

PhD. Indiana García Granados

**Managua, Nicaragua
Agosto, 2019**

DEDICATORIA

A mi Mamá Tina por haber sido una gran Abuela y Madre, por haberme brindando su gran apoyo y cariño y por haber estado pendiente de mi trabajo monográfico.

Gracias a ella y a la Virgen María he logrado culminar este gran paso de mi vida profesional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco inmensamente a Dios, a la Virgen María y a Jesús por darme fuerzas de salir adelante y culminar este estudio.

A mis padres especialmente a mi Papá por ser mi gran pilar día tras día, por sus consejos y por su apoyo incondicional.

A mi tutora y docente PhD. Indiana García Granados por haberme instruido en todo el largo camino de este trabajo monográfico y por haberme acompañado en los momentos más difíciles durante el transcurso de este trabajo.

A los que estuvieron de una u otra manera conmigo en todo este trayecto: Alex Pérez, María José Pérez, Cristina Morales, Islenny Espinoza, Kisbeld Peralta, Alisson Solís, Miguel Carrillo, Kaled Chacón, Manuel Rodríguez, Raúl Torres, Yara Espinoza, Karina López, Alejandro Guevara, Alexis Cáceres, Francisco Urbina, Danelis Berrios, Jairo Gamboa, Francisco Baltodano, Zoila Blandón, Tía Elorgia, José Ramón Pérez, Eddy Pérez, Tío Armindo, Pedro Pavón, Kenneth Chévez, Abner Valdívía, Ana Carolina Álvarez y Michelle Sandoval.

OPINIÓN DEL CATEDRÁTICO GUÍA

El trabajo de diploma de la estudiante Larissa Pérez González tienen como título:

“Evaluación de los procesos de desinfección en cinco sistemas rurales de abastecimientos de agua potable”

Este trabajo de diploma implicó la evaluación del proceso de desinfección en cinco sistemas de potabilización de agua como barrera de seguridad para evitar la ocurrencia de enfermedades de origen hídrica en la población abastecida. Se efectuaron entrevistas para conocer la opinión de las distintas comunidades sobre el nivel de servicio que reciben y la posibilidad del pago de la tarifa del agua; se tomaron muestras de las fuentes y de las distintas etapas de las plantas de tratamiento y se realizó el análisis fisicoquímico y bacteriológico de las muestras; posteriormente con los resultados se elaboraron las propuestas de los sistemas de tratamiento y el balance de contaminantes. Además, se efectuó el análisis del estado del proceso de desinfección en los sistemas evaluados, brindando recomendaciones como oportunidades de mejora. Este tipo de trabajo es aplicativo y da solución a los problemas relacionados al abastecimiento poco seguro del agua potable en las comunidades evaluadas.

Me despido atentamente,



PhD MSc Ing. Indiana A. García G.
Tutora del Trabajo Monográfico

RESUMEN

El alcance de este trabajo monográfico fue el de evaluar los procesos de desinfección en cinco sistemas rurales de abastecimiento de agua potable en la Región Autónoma Costa Caribe Norte (RACCN) en los municipios de Bonanza, Puerto Cabezas y Waspam para hacer un diagnóstico de la calidad del agua que consumen los habitantes de esa zona y a la vez dar solución mediante propuestas de tratamiento y un manual de apoyo de operación en el área de desinfección.

Como primer paso, se realizó la visita en el sitio para hacer un análisis observacional, entrevistas y se muestreó el agua de la zona de captación, entrada y salida de los sistemas, casas, puestos públicos de agua; esto con el fin de efectuar un análisis de calidad de agua.

Después de haber procesado la información y hacer los análisis fisicoquímicos y microbiológicos al agua se hizo un diagnóstico del agua cruda y procesada; sirviendo de base para las propuestas de tratamientos y de las nuevas cadenas de cloro respectivamente.

Por último, se elaboró un material de apoyo que es un manual de cloración para los operadores de los sistemas rurales, explicado de una manera gráfica y sencilla ya que los operarios que manejan los sistemas de abastecimiento de agua potable no cuentan con conocimientos técnicos de la cloración.

Todo esto con el fin de garantizar agua segura que cumpla con los parámetros de la Normativa Nacional, Normativa Centroamérica y el Caribe [Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (CAPRE)] y las Normativas Internacionales [(Organización Mundial de la Salud (OMS) y Agencia de Protección Ambiental (EPA)], a la vez cumplir con el Objetivo del Desarrollo Sostenible número 6 (ODS 6).

Palabras clave: *Calidad del Agua, Desinfección, Rurales, Tratamiento, Diagnóstico, Costa Caribe Norte.*

ABSTRACT

The scope of this monographic work was to evaluate disinfection processes in five rural drinking water supply systems in the Costa Caribe Norte Autonomous Region (RACCN) in the municipalities of Bonanza, Puerto Cabezas and Waspam to make a diagnosis of the quality of water consumed by the inhabitants of that area and at the same time provide a solution through treatment proposals and an operating support manual in the area of disinfection.

As a first step, the site visit was made for observational analysis, interviews and water sampled from the catchment area, in and out of the systems, houses, public water stations; for a water quality analysis.

After processing the information and making physicochemical and microbiological analyses to water, a diagnosis of raw and processed water was made; serving as the basis for treatment proposals and new chlorine chains respectively.

Finally, a support material was developed which is a chlorination manual for operators of rural systems, explained in a graphical and simple way to the operators who manage drinking water supply systems do not have knowledge chlorination technicians.

All of this for the purpose to ensure safe water that meets the parameters of the National Regulations, Central American and Caribbean Regulations [Regional Coordinating Committee of Drinking Water and Sanitation Institutions of Central America, Panama and the Dominican Republic (CAPRE)] and the International Regulations [(World Health Organization (WHO) and Environmental Protection Agency (EPA)], while meeting Sustainable Development number 6 (SDG 6).

Keywords: Water Quality, Disinfection, Rural, Treatment, Diagnostics, North Caribbean Coast.

TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
III. MARCO TEÓRICO	4
3.1 Cobertura de Agua Mejorada.....	4
3.2 Cobertura de Saneamiento Mejorado	4
3.3 Calidad del Agua Potable.....	5
3.3.1 Parámetros Físicos que se Evaluaron en los Cinco Sistemas de.....	5
Desinfección	
3.3.2 Parámetros Químicos Inorgánicos que se Midieron en los Cinco Sistemas..	6
de Desinfección	
3.3.3 Parámetros Químicos Orgánicos que se Analizaron en los Cinco.....	13
Sistemas de Desinfección	
3.3.4 Parámetros Microbiológicos que se Evaluarán en los Cincos Sistemas.....	15
de Desinfección	
3.4 Inspección Sanitaria.....	15
3.5 Normativas Nacionales	16
3.6 Normativa para Centroamérica y el Caribe	16
3.7 Normativas Internacionales.....	16
3.8 Indicadores de Contaminación Microbiológica.....	17
3.9 Desinfección	18
3.9.1 Punto de Quiebre	19
3.9.2 Desinfección Primaria.....	19
3.9.3 Desinfección Secundaria	20
3.10 Tipos de Cloro.....	20

3.10.1 Cloro Gaseoso, (Cl ₂).....	20
3.10.2 Hipoclorito de Calcio, Ca (OCl) ₂	21
3.10.3 Cloruro de Bromo, BrCl.....	23
3.10.4 Dióxido de Cloro, ClO ₂	23
3.10.5 Dicloroisocianurato Sódico	24
3.10.6 Halazone (Ácido 4 diclorosulfamil benzoico)	24
3.10.7 Chlor-Floc (Dicloro-s-triacinetriona de sodio).....	25
3.10.8 Agua Potable o Globaline	25
3.10.9 Cloraminas	26
3.11 Ecuación de los Números de Microorganismos Sobrevivientes.....	27
3.12 Reacciones Adversas de la Materia Orgánica con el Cloro	28
3.13 Influencia de Cloración de Materia Orgánica	30
3.13.1 Los Iones Bromuros.....	31
3.13.2 El pH	32
3.13.3 La Temperatura	32
3.14 Dosis de Cloro y Tiempo de Contacto	32
3.15 Tipos de Clorinadores y Bombas Clorinadoras.....	35
3.15.1 Clorador CTI-8	35
3.15.2 Clorador de Gas	37
3.15.3 Bomba Dosificadora Digital TPG	37
3.15.4 Bomba Analógica APG	38
3.15.5 Bomba de Dosificación TPT para Acople con Sonda de Cloro y/o pH	38
3.15.6 Bomba Dosificadora a Pilas con Programación Temporizada	39
3.16 Importancia de las Bombas Dosificadoras	39

3.17 Enfermedades de Origen Hídrico.....	39
3.18 Higiene.....	47
IV. DESCRIPCIÓN DE LOS TRES MUNICIPIOS EN ESTUDIO	48
4.1 Descripción del municipio de Bonanza, Región Autónoma Costa Caribe48	
Norte (RACCN)	
4.2 Descripción del municipio de Puerto Cabezas, Región Autónoma Costa51	
Caribe Norte (RACCN)	
4.2.1 Twi Waupasa	52
4.2.2 Tasba Pri	54
4.3 Descripción del Municipio de Waspam, RACCN.....	55
4.3.1 Llano	57
V. METODOLOGÍA.....	59
5.1 Tipo de Estudio	59
5.2 Universo.....	59
5.3 Población	60
5.4 Parámetros	60
5.5 Evaluación de los Procesos de Desinfección.....	64
5.6 Cadenas de Cloro	64
5.7 Manual de Operación.....	65
VI. RESULTADOS.....	66
6.1 Diagnóstico de la Calidad Fisicoquímica y Microbiológica	66
6.1.1 Sistema Wangki, Bonanza.....	66
6.1.2 Sistema Santa Rita, Bonanza	71
6.1.3 Twi Waupasa, Puerto Cabezas (ONG Water Aid)	75
6.1.4 Tasba Pri, Puerto Cabezas (ONG Water Aid).....	78

6.1.5 Llano, Waspam (ONG Water Aid).....	80
6.2 Elaboración de Nuevas de Cadenas de Cloro	83
6.3 Elaboración del Manual de Operación	83
VII. DISCUSION DE RESULTADOS.....	84
7.1 Diagnóstico de la Calidad Fisicoquímica y Microbiológica	84
7.1.1 Diagnóstico de la Calidad Fisicoquímica y Microbiológica del Agua Cruda ...	84
7.1.2 Diagnóstico de la Calidad Fisicoquímica y Microbiológica del Agua....	86
Producida	
7.2 Nuevas Cadenas de Cloro	92
7.3 Manual de Operación.....	99
VIII. CONCLUSIONES	100
IX. RECOMENDACIONES.....	101
X. LISTA DE REFERENCIA.....	102
Anexo A: Normativas de Calidad.....	108
Anexo B: Instrumentos para los Actores Claves	121
Anexo C: Manual de Operación.....	130

INDICE DE TABLA

Tabla 1: Valor de la Constante Ka.....	8
Tabla 2: Valores Recomendados de los Parámetros a Evaluar de la Calidad de.....	17
Agua	
Tabla 3: Indicadores de Contaminación Microbiológica.....	18
Tabla 4: Valores de Ct Recomendados para Inactivación del 99% (2-log).....	19
Tabla 5: Tipos de Cloraminas y sus Propiedades.....	27
Tabla 6: Valores de Ct para la Inactivación de Virus por Cloro Libre.....	34
Tabla 7: Valores de Ct para la Inactivación de Quistes de <i>Giardia</i>	34
usando Cloraminas	
Tabla 8: Valores de Ct para la Inactivación Valores de Ct para la Inactivación.....	35
de Virus usando Cloraminas	
Tabla 9: Sistemas de Agua en Bonanza.....	49
Tabla 10: Prestadores de Servicios en Bonanza.....	49
Tabla 11: Prestadores de Asistencia Técnica en Bonanza.....	49
Tabla 12: Sistemas de Agua en Twi Waupasa.....	53
Tabla 13: Prestadores de Servicios en Twi Waupasa.....	53
Tabla 14: Prestadores de Asistencia Técnica en Twi Waupasa	54
Tabla 15: Sistemas de Agua en Tasba Pri.....	55
Tabla 16: Prestadores de Servicios en Tasba Pri.....	55
Tabla 17: Prestadores de Asistencia Técnica en Tasba Pri.....	55
Tabla 18: Sistemas de Agua en Llano.....	58
Tabla 19: Prestadores de Servicios en Llano.....	58
Tabla 20: Prestadores de Asistencia Técnica en Llano.....	58
Tabla 21: Parámetros Evaluados.....	60
Tabla 22: Métodos para la Determinación de los Parámetros.....	61
Tabla 23: Preservación de las Muestras.....	62

Tabla 24: Puntos de Muestreos.....	63
Tabla 25: Resultados de las Pruebas del Sistema de Abastecimiento.....	70
Wangki, Bonanza	
Tabla 26: Resultados de las Pruebas del Sistema de Abastecimiento.....	75
Santa Rita, Bonanza	
Tabla 27: Resultados de las Pruebas del Sistema de Abastecimiento.....	77
Twí Waupasa, Puerto Cabezas	
Tabla 28: Resultados de las Pruebas del Sistema de Abastecimiento.....	79
Tasba Pri, Puerto Cabezas	
Tabla 29: Resultados de las Pruebas del Sistema de Abastecimiento.....	83
Llano, Waspam	
Tabla 30: Diagnóstico de la Calidad del Agua Cruda de los Cinco	85
Sistemas de Abastecimiento	
Tabla 31: Diagnóstico de la Calidad del Agua Procesada de los Cinco	87
Sistemas de Abastecimiento	
Tabla 32: Nivel de Servicio de los Cinco Sistemas de Abastecimiento.....	88
Tabla 33: Datos de Morbilidad.....	91
Tabla 34: Diagnóstico del Proceso de Desinfección en los Cinco	92
Sistemas de Abastecimiento	

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Formas Importantes del Cloro.....	7
Figura 2: pH versus %HOCl y %OCl ⁻	10
Figura 3: Proporciones del Cloro Molecular y Ácido Hipocloroso en distintas Soluciones de Cloro a 25°C	11
Figura 4: Mecanismo de Formación de SPD.....	29
Figura 5: Clorador CTI-8	36
Figura 6: Clorador a Gas.....	37
Figura 7: Bomba Dosificadora Digital TPG.....	38
Figura 8: Bomba de Dosificación TPT para Acople con Sonda de Cloro y/o pH.....	39
Figura 9: Vista Satelital de Bonanza, RACCN.....	48
Figura 10: Vista Satelital de Puerto Cabezas, RACCN.....	51
Figura 11: Vista Satelital de Twi Waupasa, Puerto Cabezas.....	53
Figura 12: Vista Satelital de Tasba Pri, Puerto Cabezas.....	54
Figura 13: Vista Satelital de Waspam, RACCN.....	56
Figura 14: Vista Satelital de Llano, Waspam.....	57
Figura 15: Universo.....	59
Figura 16: Zona de Captación, Río Pis Pis.....	67
Figura 17: Escorrentía del Río Pis Pis.....	67
Figura 18: Agua en la Entrada del Sistema.....	67
Figura 19: Inyección del Coagulante en el Sistema 1	68
Figura 20: Filtro de Arena en el Sistema 1.....	68
Figura 21: Filtro de Antracita en el Sistema 1.....	68
Figura 22: Tanque de Almacenamiento del Primer Sistema.....	69
Figura 23: Rebombeo al Tanque de Almacenamiento 2 en el Sistema 1.....	69
Figura 24: Fugas en el Tanque de Almacenamiento.....	69
Figura 25: Rebose del Tanque de Almacenamiento 1.....	70

Figura 26: Captación Sistema 2.....	71
Figura 27: Bomba de 100 HP Sistema 2.....	72
Figura 28: Tuberías de la Salida del Sistema	72
Figura 29: Caseta del CPF.....	72
Figura 30: Tubería de Entrada al Sistema.....	73
Figura 31: Zona de Entrada.....	73
Figura 32: Filtros de Arena.....	73
Figura 33: Vista de la Parte Interna del Tanque de Almacenamiento	74
Figura 34: Sistema 2.....	74
Figura 35: Escuela de Twi Waupasa.....	76
Figura 36: Zona de Toma de Muestra en la Cocina de la Escuela de Twi Waupasa....	76
Figura 37: Sistema de Twi Waupasa.....	76
Figura 38: CTI-8.....	77
Figura 39: Casa donde se Tomó la Muestra en Tasba Pri.....	79
Figura 40: Vista del Interior del Tanque de Almacenamiento	81
Figura 41: Tanque de Almacenamiento.....	82
Figura 43: Aliviadero.....	82
Figura 44: Tubería en Llano.....	82

LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS UTILIZADOS

CAPS:	Comité de Agua Potable y Saneamiento
CM:	Captación de Manantial
E.D.A:	Enfermedades Diarreicas Agudas
FGAC:	Filtro Grueso Ascendente en Capas
FGDi:	Filtro Grueso Dinámico
FiME:	Filtración en Múltiples Etapas
FLA:	Filtro Lento de Arena
FRA:	Filtro Rápido de Arena
MABE:	Mini Acueducto por Bombeo Eléctrico
MAG:	Mini Acueducto por Gravedad
ODS:	Objetivo de Desarrollo Sostenible
PCM:	Programa Conjunto de Monitoreo
UMAS:	Unidad Municipal de Agua y Saneamiento
UMASH:	Unidad Municipal de Agua, Saneamiento e Higiene

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, al menos 1,8 millones de personas utilizan fuentes de agua contaminada con heces. Se estima que estas aguas contaminadas causan 502 000 muertes por diarrea cada año. Así mismo, casi 240 millones de personas están afectadas por la esquistosomiasis, una enfermedad aguda y crónica causada por gusanos parásitos adquiridos a través de la exposición a aguas infestadas. De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS) y Organización Panamericana de la Salud (OPS), el 91% de la población mundial tenía acceso a una fuente mejorada de agua potable en el 2015; en comparación con 76% en 1990. Aproximadamente 2,6 billones de personas han obtenido acceso a una fuente mejorada de agua de consumo humano desde 1990 ("Boletín Informativo El Agua," 2015).

Otra problemática de la falta de desinfección en las aguas ocurre en las unidades de salud. En 54 países de bajos y medianos ingresos, el 38% de los centros de salud carecen de cualquier fuente de agua, el 19% no han mejorado el saneamiento y el 35% carece de agua y jabón para lavarse las manos. A nivel mundial, el 15% de los pacientes desarrollan una infección durante una estancia en el hospital, con la proporción mucho mayor en los países de bajos ingresos ("Boletín Informativo El Agua," 2015).

La evaluación de los procesos de desinfección en los sistemas de abastecimiento de agua potable rurales es un tema tratado a nivel mundial no solo en Nicaragua debido a su gran importancia ya que en las zonas rurales existen muchas fuentes de aguas contaminadas. No obstante, a pesar del tratamiento que reciben esas fuentes para convertirlas en agua potables no siempre se alcanza el objetivo de suministrar agua con calidad, ya que uno de estos procesos, el de desinfección es minimizado como barrera de seguridad por los operadores y administradores de los sistemas.

Lo anterior conlleva a la aparición de enfermedades hídricas como la diarrea, tifoidea, y, el cólera entre otros, aumentando los casos de morbilidad y mortalidad en las comunidades que reciben solamente agua entubada.

En Nicaragua están presentes los factores que están asociados a un mayor riesgo de enfermar e incluso de morir por enfermedad diarreica aguda (EDA) los cuales son: la higiene personal deficiente, la limpieza en la preparación y consumo de alimentos, contaminación fecal del agua y de alimentos. Las EDA por sí solas son responsables en promedio anual de 604 871 eventos de morbilidad y 98 casos de mortalidad. Para el periodo 2005-2013, sucedieron un total acumulado de 296 018 eventos de EDA, para

una tasa de morbilidad de 575,68 por cada 10 000 habitantes. En el periodo 1997-2012, se registró un total de 7879 defunciones por enfermedades relacionadas al agua, de las cuales, el 54,37% ocurrieron en personas del sexo masculino y el 45,63% en el sexo femenino. De cada 10 defunciones 6 son en el grupo de edad de 0 a 4 años ("Boletín Informativo El Agua," 2015).

Nicaragua es un país con suficientes recursos hídricos con una alta disponibilidad de agua por habitante de 38 668 m³ per cápita. En Nicaragua, se suministra anualmente a la población alrededor de 220 millones de metros cúbicos (MMC), de ellos el 82 % son de origen subterráneo y el 18% provienen de otros tipos de fuentes ("Boletín Informativo El Agua," 2015). No obstante, la calidad de los recursos hídricos ha sido afectada en todo el país y especialmente en las zonas urbanas.

En el país, ha ocurrido un aumento de la cobertura con agua para el consumo humano (ACH) pasando de 21% a 85% entre los años 1960 y el 2010. El aumento de cobertura no significa que el agua que están recibiendo los pobladores sea segura para consumo humano.

El presente trabajo consistió en evaluar el proceso de desinfección en cinco sistemas rurales de abastecimiento de agua potable dando como resultado un diagnóstico negativo de la calidad de sus aguas ya que pone en riesgo la salud de los consumidores de la comunidad porque el agua que toman y que usan para satisfacer sus necesidades básicas están contaminadas porque no desinfectan el agua y la falta de mantenimiento en los sistemas.

Debido a lo anterior se deduce que no se está cumpliendo con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (ODS 6) declarado en la Asamblea General de las Naciones Unidas, el 25 de septiembre de 2015, porque no se está garantizando un agua de calidad apta para el consumo humano (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia y Organización Mundial de la Salud, 2017).

II. OBJETIVOS

A continuación, se muestran los objetivos planteados para el desarrollo de este trabajo monográfico.

Objetivo General

Evaluar la calidad del agua cruda y producida en cinco sistemas rurales de abastecimiento de agua para el periodo noviembre-diciembre 2018.

Objetivos Específicos

- Evaluar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua cruda y procesada de cinco sistemas para la elaboración de un diagnóstico que correlacione los resultados de calidad de agua con los datos de mortalidad y morbilidad de la población.
- Elaborar nuevas cadenas de cloro que tomen en consideración los hallazgos del diagnóstico y las condiciones socioeconómicas de la comunidad.
- Diseñar un manual de operación de acuerdo al tipo de sistema y proceso de cloración empleados en los sistemas de potabilización de agua.

III. MARCO TEÓRICO

En este acápite, se presenta detalladamente que es calidad de agua, características de los parámetros físicos-químicos y microbiológicos. Además de la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense de Clasificación de Recursos Hídricos 05 007-98 (NTON 05 007-98), Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense para el Diseño de Abastecimiento y Potabilización del Agua 09 003-99 (NTON 09 003-99), Guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS), Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (CAPRE) y Environmental Protection Agency (EPA).

3.1 Cobertura de Agua Mejorada

Es el porcentaje de la mejora de la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, la eliminación del vertimiento y la reducción al mínimo de la descarga de materiales y productos químicos peligrosos, la reducción a la mitad del porcentaje de aguas residuales sin tratar y un aumento sustancial del reciclado y la reutilización en condiciones de seguridad a nivel mundial donde los Objetivos de Desarrollo Sostenible 6 (ODS 6) tiene por meta asegurar que para el año 2030 existirá la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua donde se tendrá el 100% de cobertura de agua mejorada e igual 100% de cobertura de saneamiento mejorado (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia y Organización Mundial de la Salud, 2017).

3.2 Cobertura de Saneamiento Mejorado

Esto es una evaluación anual mundial sobre saneamiento y agua potable donde Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia y Organización Mundial de la Salud (2017) hace mención en su objetivo número seis donde insta a adoptar un enfoque integrado en lo que se refiere al seguimiento, que tenga en cuenta los vínculos entre el abastecimiento de agua, el saneamiento, la higiene, el tratamiento, reciclaje, reutilización de las aguas residuales, el aumento de la eficiencia y la sostenibilidad de las extracciones y la protección de los ecosistemas relacionados con el agua como parte de un enfoque integrado con respecto a la gestión de los recursos hídricos donde se miden los niveles de servicio de abastecimiento de agua para todos en el Programa Conjunto de Monitoreo conocido como PCM.

Esto es con el fin de que el año 2030 todos tengan el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres, las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad (Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas, 2016).

3.3 Calidad del Agua Potable

La calidad del agua potable se establece a partir de la comparación de los resultados de los laboratorios con las normas establecidas a nivel nacional e internacional. A continuación, se explican los distintos parámetros evaluados en este estudio.

3.3.1 Parámetros Físicos que se Evaluaron en los Cinco Sistemas de Desinfección

Son características físicas causadas por sustancias que sólo modifican su estado o su movimiento, pero no su naturaleza (Molina, 2001).

3.3.1.1 Turbiedad

El término turbio se aplica a las aguas que contienen materia en suspensión y/o dispersiones coloidales que interfieren con el paso de la luz a través del agua y tiene restringida la visión de la profundidad. La turbiedad es una consideración esencial en los abastecimientos públicos de agua por estética, filtrabilidad y desinfección (Sawyer et al., 2001).

3.3.1.2 Conductividad

La conductividad es la habilidad de una solución para conducir electricidad. Son pequeñas partículas cargadas eléctricamente, llamadas iones, pueden llevar una corriente eléctrica a través de soluciones de agua. Estos iones provienen principalmente de los ácidos y sales de la solución de la fuente (Rodríguez, 2009).

3.3.1.3 Temperatura

Es uno de los parámetros más importantes de la calidad de agua porque afecta su química y las funciones de los organismos acuáticos. Por lo tanto influye según “Folleto Informativo Temperatura” (s.f.) en los siguientes aspectos:

- La cantidad de oxígeno que se puede disolver en el agua.

- La velocidad de fotosíntesis de las algas y otras plantas acuáticas.
- La velocidad metabólica de los organismos.
- La sensibilidad de organismos a desechos tóxicos, parásitos y enfermedades.
- Épocas de reproducción, migración y estivación de organismos acuáticos.

3.3.1.4 Color Verdadero

Se denomina color verdadero, al color que imprimen las sustancias disueltas y las partículas coloidales, donde dentro de las sustancias disueltas se encuentran las sustancias orgánicas que son compuestos orgánicos de gran peso molecular, que constituyen las fracciones más solubles del humus natural de los suelos, con propiedades coloidales y con intensidad de color que puede variar con la acidez del suelo (Molina, 2001).

3.3.1.5 Sólidos Totales Disueltos (STD)

En el agua potable la mayor parte de la materia se encuentra en forma disuelta y está constituida principalmente por sales inorgánicas, pequeñas cantidades de materia orgánica y gases disueltas. La dureza aumenta con el contenido total de sólidos disueltos, que en aguas potables usualmente oscila entre 20 y 1 000 mg/L. A diferencia de las mediciones de sólidos totales en el secado de las muestras se realiza entre 103 y 105°C, el análisis de los sólidos disueltos totales en los abastecimientos de agua se lleva a cabo a 180°C. La razón por la que se usa temperatura más alta es para remover toda el agua mecánicamente absorbida. La determinación de la cantidad de materia disuelta y no disuelta se realiza mediante pruebas en fracciones filtradas y no filtradas de muestras. Las sustancias no disueltas usualmente se denominan materia suspendida o sólidos suspendidos (Sawyer et al., 2001).

3.3.2 Parámetros Químicos Inorgánicos que se Midieron en los Cinco Sistemas de Desinfección

Los químicos inorgánicos son sustancias inertes o muertas, y se caracterizan por no contener carbono; hay ciertos compuestos que contienen carbono y se consideran como inorgánicos, dado que no contienen enlaces carbono-carbono y que sus propiedades son semejantes a este tipo de compuestos, entre los cuales está el Monóxido de Carbono (CO) y el Dióxido de Carbono (CO₂) (Marconi, 2013).

3.3.2.1 Amonio

La presencia de amoníaco indica una degradación incompleta de la materia orgánica. En disolución acuosa se puede comportar como una base y formarse el ion amonio, NH_4^+ . La cantidad de amonio se suele indicar como mg/L $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg de N de la molecula de NH_4^+ por litro de agua) o bien mg/L NH_4 (mg NH_4 por L de agua). La relación entre ambos es $1 \text{ mg/L } \text{NH}_4\text{-N} = 1.288 \text{ mg/L } \text{NH}_4$ (Lenis, 2015).

3.3.2.2 pH

Es un factor que se debe tener en consideración en la coagulación química, la desinfección, el ablandamiento de aguas y el control de la corrosión ya que expresa la magnitud de la acidez o alcalinidad (Sawyer et al., 2001).

El pH del agua, en el caso de la cloración, tiene un efecto significativo en su eficacia que requiere particularmente un aumento en la tasa de dosificación por encima de un valor de 7,5. El dióxido de cloro es más efectivo como desinfectante que el cloro a un pH más alto (Environmental Protection Agency, 2011).

3.3.2.3 Cloro Total

Es la sumatoria del cloro libre más el cloro residual libre.

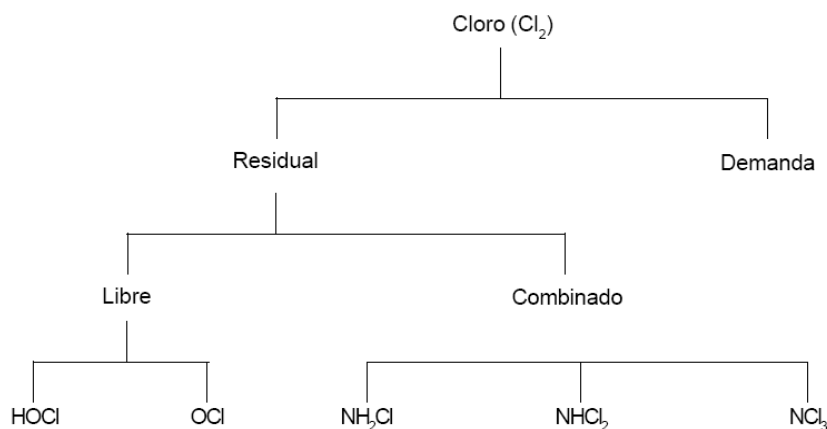


Figura 1: Formas Importantes del Cloro

Fuente: Arboleda, 2000.

3.3.2.4 Cloro Residual

Según Asociación Nacional de Electroquímica (2018):

- Cloro Residual: Es la fracción de cloro añadido que conserva sus propiedades desinfectantes.
- Cloro Residual Libre: Es la cantidad de cloro presente en el agua en forma de ácido hipocloroso o hipoclorito.
- Cloro Residual Combinado: Es la cantidad de cloro presente en el agua en forma de cloraminas u otros compuestos orgánicos de cloro.

Jaramillo (2010) hace referencia que el cloro residual se forma en dos etapas:

- a. Hidrólisis, que se efectúa en fracciones de segundo:



- b. Disociación, en que el ácido hipocloroso, inestable parcialmente, se ioniza así:



Queda entonces en el agua parte del cloro residual como HOCl y otra parte como OCl⁻ que resulta de la ionización del ácido hipocloroso. La proporción en que existe uno y otro depende directamente del pH tiene mucha importancia en cuanto a el HOCl que es un buen bactericida poderoso, mientras que el OCl⁻ es un bactericida muy pobre (Jaramillo, 2010).

La constante de ionización K_a es igual a:

$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{OCl}^-]}{[\text{HOCl}]} \quad (3)$$

La constante K_a varía con la temperatura:

Tabla 1: Valor de la Constante K_a

Temperatura	0	5	10	15	20	25
$K_a \cdot 10^{-8}$	2	2,3	-2,6	3	3,3	3,7

Fuente: Jaramillo, 2010.

De la expresión se obtiene que:

$$OCl^- = Ka \frac{[HOCl]}{[H^*]} \quad (4)$$

El Cloro Libre Total CT es igual a :

$$CT = [HOCl] + [OCl^-] \quad (5)$$

Reemplazando $[OCl^-]$ por su valor:

$$CT = [HOCl] + Ka \frac{[HOCl]}{[H^*]} \quad (6)$$

O:

$$CT = [HOCl] \left[\frac{1+Ka}{H^*} \right] \quad (7)$$

En otra forma:

$$\frac{[HOCl]}{CT} = \frac{1}{\left[\frac{1+Ka}{H^*} \right]} \quad (8)$$

Como:

$$pH = \log \left[\frac{1}{H^*} \right] \text{ o } \text{antilog } pH \frac{1}{H^*} = 10^{pH} \quad (9)$$

Reemplazando este valor en la fórmula:

$$\frac{[HOCl]}{CT} = [1 + Ka \cdot 10^{pH}]^{-1} \text{ ó } [HOCl] = \frac{CT}{[1 + Ka \cdot 10^{(pH)}]} \quad (10)$$

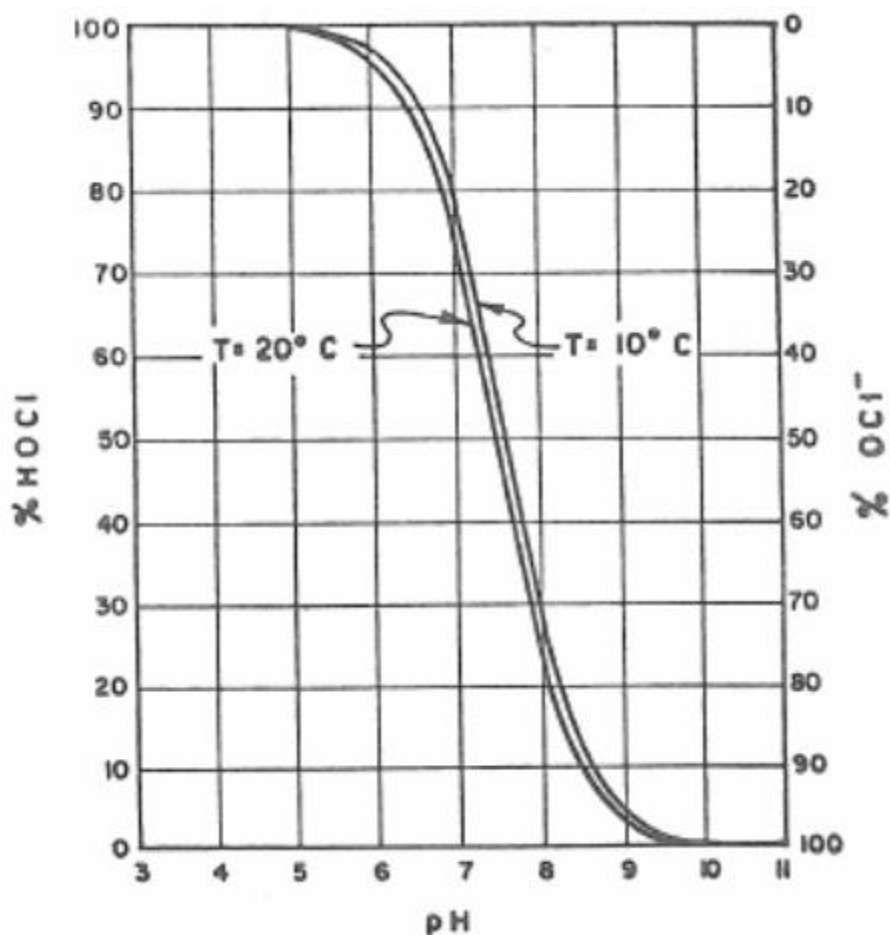


Figura 2: pH versus %HOCl y %OCl⁻

Fuente: Jaramillo, 2010.

De la fórmula anterior se hace mención que cuanto menor sea el pH habrá mayor concentración de HOCl. Si se quiere conocer el porcentaje de HOCl, haciendo C igual a la unidad, bastará multiplicar por 100 el resultado (Jaramillo, 2010).

La Figura 2 muestra cómo está hecha la distribución de los compuestos a 20°C y 10°C, donde se puede leer que a un pH igual o mayor a 10, todo el cloro libre está en forma de ión hipoclorito y, en cambio, a un pH igual o inferior a 5,5 todo el cloro libre está en forma de ácido hipocloroso (Jaramillo, 2010).

En estos casos el cloro libre tiene la tendencia a volatilizar, por lo que se prepara en los cloradores y se prefiere que no tenga una concentración mayor de 35 000 mg/L para limitar un 30% el cloro no disuelto y así evitar la corrosión de los objetos metálicos que puedan encontrarse en la zona del punto de aplicación, por el tanque de los llamados “humos de cloro” (Jaramillo, 2010).

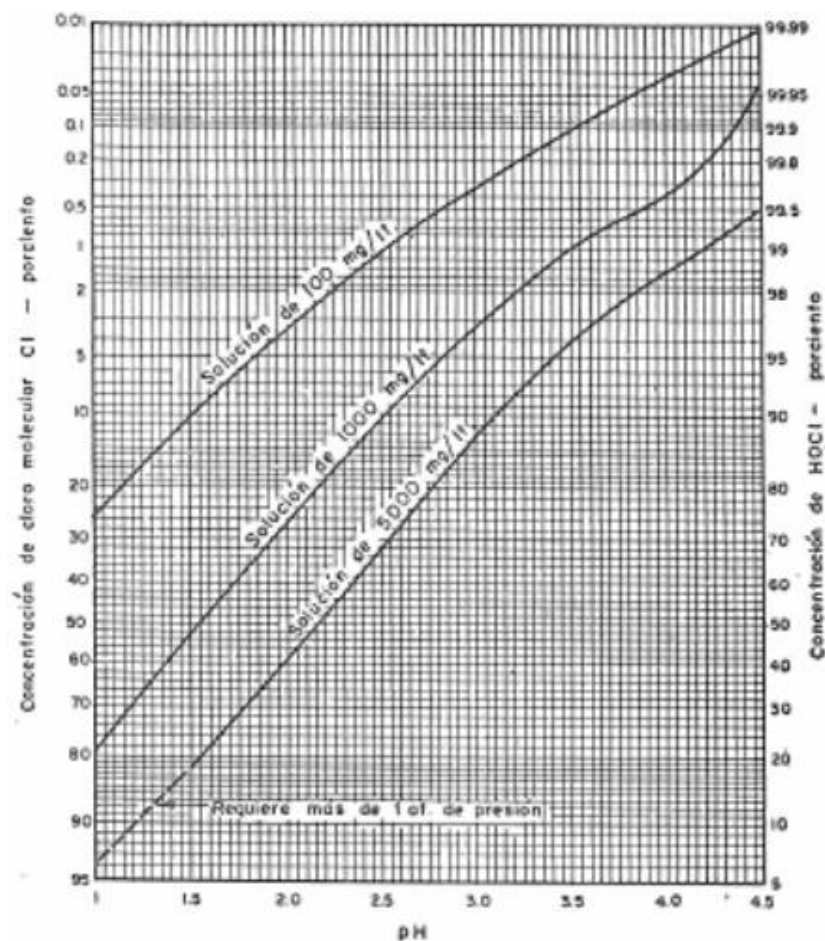
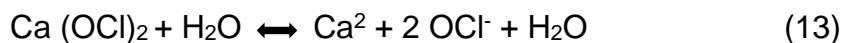


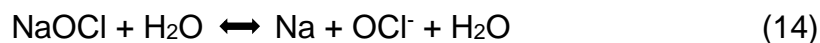
Figura 3: Proporciones del Cloro Molecular y Ácido Hipocloroso en distintas Soluciones de Cloro a 25°C

Fuente: Jaramillo, 2010.

Los hipocloritos de calcio ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) y sodio (NaOCl) reaccionan en la forma similar a las del cloro gaseoso (Jaramillo, 2010):



La ecuación del hipoclorito de sodio



En ambas reacciones aparece el ión hipoclorito OCl^- , el cual reacciona con el hidrógeno para formar ácido hipocloroso. De esta forma (Jaramillo, 2010):



El ácido hipocloroso así formado establece un equilibrio con el ión hipoclorito, como en el caso del cloro gaseoso, el cual depende de la concentración de iones H^+ , es decir, pH (Jaramillo, 2010).

3.3.2.5 Nitrato

El nitrato (NO_3^-) es parte natural del suelo y de las aguas subterráneas puede encontrarse en el agua potable cuando se aplican productos que contienen nitrógeno como fertilizantes y/o estiércol de ganado en la tierra; como también los desechos humanos de sistemas sépticos que son una fuente de nitrato y la lluvia o agua de irrigación ya que puede transportar los nitratos a través de la tierra al agua subterránea (Lower, Yakima, y Valley, 2012).

3.3.2.6 Hierro

El hierro ocurre de manera natural en acuíferos, pero los niveles de aguas subterráneas pueden aumentar por disolución de rocas ferrosas. Las aguas subterráneas que tienen hierro son normalmente de color naranja y provoca el destiño en las ropas lavadas, y además tienen un sabor desagradable, que se puede notar en el agua y en la cocina ("Hierro en las aguas subterráneas," s.f.).

El hierro que es disuelto en las aguas subterráneas se reduce a su forma hierro II. Esta forma es soluble y normalmente no causa ningún problema por sí misma. El hierro II se oxida a formas de hierro III que son hidróxidos insolubles en agua ("Hierro en las aguas subterráneas," s.f.).

Estos son compuestos rojos corrosivos que tiñen y provocan el bloqueo de bombas, tuberías y sistemas de recirculación, etc. Si los depósitos de hidróxido de hierro se producen por bacterias del hierro entonces son pegajosos y los problemas de manchas y bloqueo de sistemas son todavía más graves ("Hierro en las aguas subterráneas," s.f.).

3.3.2.7 Arsénico

La exposición prolongada al arsénico a través del consumo de agua y alimentos contaminados puede causar cáncer y lesiones cutáneas. También se ha asociado a problemas de desarrollo, enfermedades cardiovasculares, neurotoxicidad y diabetes ("Arsénico," s.f.).

3.3.2.8 Manganeso

García (2017) hace referencia que, en las aguas superficiales, una parte del manganeso se encuentra en forma suspendida y en las aguas subterráneas al entrar en contacto con el aire absorbe oxígeno y se vuelve turbia e inaceptable desde el punto de vista estético, debido a la oxidación a Mn^{4+} , que forman precipitados coloidales, además el manganeso imparte sabor al agua aún en concentraciones bajas.

En la capa superficial de la mayoría de los cuerpos de aguas naturales, debido al pH y la concentración de oxígeno disuelto; el manganeso es oxidado y convertidos a sus formas insolubles. Sin embargo, cuando penetra la materia orgánica en el cuerpo de agua, ésta consume oxígeno creando las condiciones para la reducción del Mn^{4+} , volviéndose solubles.

También García (2017) comenta que, hasta la fecha no se conocen efectos perjudiciales a la salud del hombre por beber agua que contenga manganeso.

3.3.3 Parámetros Químicos Orgánicos que se Analizaron en los Cinco Sistemas de Desinfección

Son las sustancias contenidas o provenientes de los organismos vivos, y se caracterizan por contener principalmente el elemento químico carbono (enlaces de carbono-carbono), (Marconi, 2013).

3.3.3.1 Carbono Orgánico Total

Es uno de los parámetros compuestos más importantes en la evaluación de la contaminación orgánica del agua. Debido a que incluye todos los compuestos del carbono como una masa, se define exactamente como una cantidad absoluta. Por lo tanto, se puede determinar directamente ("Carbono Organico Total," s.f.).

3.3.3.2 Trihalometanos

Una desventaja generalizada del uso de cloro para la desinfección del agua es la producción de sustancias orgánicas cloradas tóxicas. Estas sustancias son compuestos llamados subproductos de la desinfección donde en ellos se encuentran los trihalometanos (THMs), que son compuestos con un solo átomo de carbono y tres halógenos, que responden a la fórmula general CHX_3 donde X puede ser flúor, cloro, bromo o yodo, o una combinación de éstos (Leal et al., 1999).

Sólo cuatro compuestos de trihalometanos son importantes respecto a la contaminación del agua para consumo humano: el Bromoformo (CHBr_3), Dibromoclorometano (CHBr_2Cl), Bromodiclorometano (CHBrCl_2) y Cloroformo (CHCl_3) (Leal et al., 1999).

Los trihalometanos se producen cuando el ácido hipocloroso reacciona con la materia orgánica presente en el agua. Uno de los supuestos mecanismos de la formación de cloroformo implica el ataque de los ácidos húmicos por el hipoclorito (Leal et al., 1999).

De particular importancia aquellos que contienen anillos de 1,3-dihidroxibenceno. El proceso sigue las etapas de ionización, hidrólisis y halogenación. El átomo de carbono, localizado entre los carbonos que contienen los grupos hidroxilo, se halogena rápidamente, como consecuencia se rompe el anillo entre los carbonos 2 y 3 produciéndose así una cadena con dos átomos de cloro en un carbono terminal (Leal et al., 1999).

En presencia de un exceso de hipoclorito, el carbono terminal se halogena nuevamente y es desplazado por un radical hidroxilo del agua para formar cloroformo, de acuerdo con la siguiente reacción (Leal et al., 1999) :



Análogamente, se producen Bromoformo y trihalometanos mixtos de cloro y bromo, cuando en la reacción interviene ácido hipobromoso, formado cuando el ion bromo presente en el agua sustituye al ion cloro del hipoclorito (Leal et al., 1999).

Aunque las sustancias húmicas son las principales precursoras de THMs, existen otros importantes compuestos orgánicos descargados en efluentes industriales, principalmente de origen petroquímico, además de la clorofila y las algas (Leal et al., 1999).

La producción de THMs es mayor en aguas de origen superficial que en aguas de origen subterránea debido a su mayor contenido de materia orgánica (Leal et al., 1999).

Al estar presentes en el agua, estas sustancias constituyen un factor de riesgo potencial a la salud, ya que al beberse son absorbidos fácilmente en el tracto gastrointestinal. También pueden entrar en el organismo durante el desarrollo de diferentes actividades, a través de la piel o por inhalación (Leal et al., 1999).

El cloroformo es sospechoso de producir daño hepático, así como cáncer de vejiga, hígado y recto en los humanos (Leal et al., 1999).

3.3.4 Parámetros Microbiológicos que se Evaluarán en los Cincos Sistemas de Desinfección

Indican los microorganismos presentes en una muestra de agua mediante la detección de coliformes fecales, totales sobre todo la *Escherichia coli* que es el principal indicador de contaminación.

3.3.4.1 Coliformes Totales

Son las *Enterobacteriaceae* lactosa-positivas, constituyen un grupo de bacterias que se definen más por las pruebas usadas para su aislamiento que por criterios taxonómicos; sus características son: tiene la capacidad para fermentar la lactosa, producen ácido y gas, temperatura de incubación comprendida entre 30°C-37°C y tiempo de incubación 24h-48h. Su habitat es en el intestino del hombre, intestino de animales, agua y suelo (Ancco, 2015).

3.3.4.2 Coliformes Termorresistentes

Las bacterias Coliformes Termorresistentes es un subgrupo de las coliformes totales conocidas también como Grupo Coliforme Fecal son las que tienen la habilidad de multiplicarse a 44,5°C que son *Citrobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter spp* y *Escherichia coli*; esta última es una bacteria específica de este grupo y es la mejor como indicador ya que solo pertenece a este tipo de contaminación fecal (Alvarado, 1998).

3.4 Inspección Sanitaria

Es una evaluación in-situ del estado y prácticas en el sistema de suministro de agua, usada para la identificación de posibles problemas de contaminación, los cuales pueden

amenazar la calidad del agua de consumo humano ("Evaluación de la Calidad de Agua de Bebida," 2005).

3.5 Normativas Nacionales

Las normativas nacionales son elaboradas y sometidas a un período de información pública y sancionadas por un organismo reconocido legalmente para desarrollar actividades de normalización en un ámbito nacional. Estas sugieren reglas, criterios o características para diversas actividades y procuran la obtención de un nivel óptimo de ordenamiento en un contexto determinado. Ayudan a mejorar la calidad, la seguridad y la competitividad industrial, ya que especifican la calidad de un producto o servicio, al definir el conjunto de propiedades o características requeridas para cumplir su función de uso en forma satisfactoria ("Clase de Norma," s.f.) ("Normativas Nacionales," s.f.).

En el Anexo A se describen las Normas Nacionales a seguir dentro de las cuales están la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense 05 007-98 que es para la Clasificación de los Recursos Hídricos y la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense 09 003-99 para el Diseño de Abastecimiento y Potabilización del Agua.

3.6 Normativa para Centroamérica y el Caribe

El Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (CAPRE), Organismo Técnico Regional con sede permanente en San José, Costa Rica. Dicta las Normas Técnicas de Control de Calidad de Productos en materia de agua potable y saneamiento entre los países miembros y afiliados; estableciendo así la Norma Regional de Calidad del Agua para Consumo Humano (Gutiérrez, s.f.). Esta norma se encuentra en el Anexo A.

3.7 Normativas Internacionales

Tienen características similares a las normas nacionales en cuanto a su elaboración, pero se distinguen de estas en que su ámbito es mundial tales como las Guías para la Calidad del Agua Potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y los Estándares del Agua Potable de las Normas de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) conocida por sus siglas en inglés que se detalla en el Anexo A ("Clase de Norma," s.f.).

En la Tabla 2 se muestran los valores de los parámetros de distintas normas para determinar si, la calidad del agua es apta para el consumo humano.

Tabla 2: Valores Recomendados de los Parámetros a Evaluar de la Calidad de Agua

Parámetros	Normativas Nacionales		Normativa para Centroamérica y el Caribe	Normativas Internacionales	
	NTON 05 007-98	NTON 09 003-99	CAPRE	Guías OMS	Normas EPA
	Categoría 1A	Categoría 1B			
Físicos					
Turbiedad	<5 UNT	<250 UNT	1 UNT	1 UNT	< 1 UNT
Conductividad			400 µs/cm	400 µs/cm	
Temperatura			18°C-30°C	18°C-30°C	
Color Verdadero	< 15 mg/L (Pt-Co)	< 150 mg/L (Pt-Co)	1 mg/L (Pt-Co)	1 mg/L (Pt-Co)	15 mg/L (Pt-Co)
Sólidos Totales Disueltos	1 000 mg/L	1 500 mg/L	1 000 mg/L	1 000 mg/L	
Químicos Inorgánicos					
Amonio			0,05 mg/L	0,05 mg/L	1,5 mg/L
pH	Mínimo. 6,0 y Máximo. 8,5	Mínimo. 6,0 y Máximo. 8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Cloro Total					
Cloro Residual			0,5 - 1,0 mg/L	0,5 - 1,0 mg/L	0,5 mg/L
Nitrato	10 mg/L	10 mg/L	25 mg/L	25 mg/L	50 mg/L
Hierro	0,3 mg/L	3 mg/L		0,3 mg/L	0,3 mg/L
Arsénico				0,01 mg/L	0,01 mg/L
Manganeso	0,5 mg/L	0,5 mg/L	0,1 mg/L	0,1 mg/L	0,05 mg/L
Químicos Orgánicos					
Carbono Orgánico Total					≤ 2 mg/L
Trihalometanos: Cloroformo			200 µg/L	460 µg/L	300 µg/L (0,3 mg/L)
Microbiológicos					
Coliformes Totales	< 2 000	< 10 000	Negativo	Negativo	Negativo
Coliforme Termorresistentes			Negativo	Negativo	Negativo

Fuente: La Gaceta, 2000; La Gaceta, s.f; Gutiérrez, s.f; Agustini y Si, 2017; "Guía para la Calidad del Agua Potable", 2006.

3.8 Indicadores de Contaminación Microbiológica

Los indicadores son los que ponen de manifiesto las deficiencias en la calidad microbiológica de un determinado cuerpo de agua. Con la determinación de que microorganismo está presentes en el agua, se puede determinar la existencia de patógenos.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2011) indica que es probable que las heces de origen humano presenten el mayor peligro ya que el rango de patógenos es el más grande e incluye todos los tipos de patógenos. Por el contrario, las heces de origen animal, surgen predominantemente del ganado, y puede ser una fuente importante en ciertas situaciones porque no contiene bacterias patógenas y protozoos con virus patógenos que presentan los humanos.

En la Tabla siguiente se muestran la lista de agentes patógenos transmitidos por el agua y su importancia en los sistemas de abastecimiento de agua ("Guía para la Calidad del Agua Potable ", 2006).

Tabla 3: Indicadores de Contaminación Microbiológica

Agente patógeno	Importancia para la Salud	Persistencia en los Sistemas de Abastecimiento de Agua ^a	Resistencia al Cloro ^b
Bacterias			
<i>Burkholderia pseudomallei</i>	Baja	Puede proliferar	Baja
<i>Campylobacter jejuni</i> <i>C. coli</i>	Alta	Puede proliferar	Baja
<i>Escherichia coli</i> patógena ^c	Alta	Moderada	Baja
<i>A. Coli</i> enterohemorrágica	Alta	Moderada	Baja
<i>Legionella spp.</i>	Alta	Moderada	Baja
<i>Micobacterias no tuberculosas</i>	Baja	Prolifera	Alta
<i>Pseudomonas aeruginosae</i>	Moderada	Prolifera	Moderada
<i>Salmonella typhi</i>	Alta	Puede proliferar	Baja
Otras salmonelas	Alta	Puede proliferar	Baja
<i>Shigella spp</i>	Alta	Moderada	Baja
<i>Vibrio cholerae</i>	Alta	Puede proliferar	Baja
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Alta	Puede proliferar	Baja
Virus			
Andenovirus	Alta	Larga	Moderada
Enterovirus	Alta	Larga	Moderada
Virus de la hepatitis A	Alta	Larga	Moderada
Virus de la hepatitis E	Alta	Larga	Moderada
Norovirus y sapovirus	Alta	Larga	Moderada
Rotavirus	Alta	Larga	Moderada
Protozoos			
<i>Acanthamoeba spp</i>	Alta	Larga	Alta
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Alta	Larga	Alta
<i>Entamoeba histolytica</i>	Alta	Moderada	Alta
<i>Giardia intestinalis</i>	Alta	Moderada	Alta
<i>Naegleria fowleri</i>	Alta	Puede proliferar	Alta
<i>Toxoplasma gondii</i>	Alta	Puede proliferar	Alta
Helmintos			
<i>Dracunculus medimensis</i>	Alta	Moderada	Moderada
<i>Schistosoma spp</i>	Alta	Corta	Moderada

Fuente: Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, s.f.

a) Período de detección del estado infeccioso en agua a 20°C. Persistencia corta: hasta 1 semana; moderada: de 1 semana a 1 mes; larga: más de 1 mes.

b) Estando el estado infeccioso en suspensión libre en agua tratada con dosis y tiempos de contacto convencionales. La resistencia es "moderada" si es posible que el agente no sea destruido completamente.

c) Incluye los datos enteropatógenos, enterotoxígenos y enteroinvasivos

3.9 Desinfección

La desinfección del agua se refiere a la inactivación de patógenos que se relaciona con el efecto de la aplicación de un desinfectante que tiene por objeto destruir la estructura celular de los microorganismos o alterar su metabolismo, biosíntesis o capacidad de crecer/reproducirse. En el caso de las bacterias, la inactivación describe la incapacidad subsiguiente del microorganismo para dividirse y formar colonias. Para virus, la inactivación mide la incapacidad del microorganismo para formar placas en las células del huésped. Para protozoos como *Cryptosporidium*, mide la incapacidad del microorganismo para multiplicarse (Environmental Protection Agency, 2011).

La filosofía que subyace a la desinfección de todos los suministros de agua es utilizar la mejor fuente de agua disponible y proporcionar múltiples barreras que evita la

transmisión de organismos patógenos a los consumidores (Environmental Protection Agency, 2011).

3.9.1 Punto de Quiebre

Ocurre cuando se agrega cloro en cantidad suficiente para satisfacer la demanda de cloro y producir cloro libre residual, se sabe cuál es el punto de quiebre por pruebas a nivel de laboratorio y una vez que ya se alcance el punto, permite utilizar todas las propiedades del cloro libre y el tiempo de contacto debe ser ≥ 20 minutos (Arboleda, 2000).

3.9.2 Desinfección Primaria

Las recomendaciones originales de la OMS para el uso de cloro como desinfectante estipulaban un mínimo de concentración de cloro libre de 0,5 mg/L (C) después de 30 minutos de tiempo de contacto (t) a un pH inferior a 8, siempre que la turbiedad sea menor de 1 NTU (Environmental Protection Agency, 2011).

El producto de estos dos valores $C \times t$ es el término comúnmente utilizado para describir la eficacia de la sustancia química en sistemas de desinfección que forman concentraciones residuales en el agua después de la dosificación química. El valor recomendado de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para la cloración corresponde a un Ct de $0,5 \times 30 = 15$ mg-min/L (Environmental Protection Agency, 2011).

Tabla 4: Valores de Ct recomendado para inactivación del 99% (2-log)

	Temperatura (°C)	pH	Ct (mg-min/L)
Bacteria	Menor a 2	7	0,08
	Menor a 2	8,5	3,3
Virus	Menor a 5	7-7,5	12
	10	7-7,5	8
Giardia	0,5	7-7,5	230
	10	7-7,5	100
	25	7-7,5	41

Fuente: Environmental Protection Agency, 2011.

Estas recomendaciones genéricas se basan en datos de inactivación que muestran los microorganismos donde varían notablemente en su susceptibilidad a la desinfección. El orden ascendente de resistencia es de bacterias, virus, esporas bacterianas a protozoos (por ejemplo, *Giardia*, *Cryptosporidium*). Los protozoos no son fácilmente inactivados por condiciones de cloración generalmente utilizados en el tratamiento de agua,

particularmente *Cryptosporidium*, y su eliminación (Environmental Protection Agency, 2011).

3.9.3 Desinfección Secundaria

El requisito para lograr un Ct adecuado para la inactivación de microorganismos transmitidos por el agua en el agua potable es la importancia de la ubicación de las instalaciones de desinfección primaria, es decir, las ubicaciones después del tratamiento donde la inactivación microbiana necesaria de los microorganismos en el agua se ve afectada (Environmental Protection Agency, 2011).

En las estaciones secundarias de desinfección y la estación de refuerzo de cloro ubicadas en las redes de distribución, no se requiere el logro de Ct basado en el volumen de contacto corriente abajo y la concentración de cloro. El Cloro se dosifica para proporcionar o aumentar el cloro residual medible en el agua para la verificación continua de la calidad microbiológica del agua y para prevenir la contaminación en la red (Environmental Protection Agency, 2011).

El objetivo de potenciar el cloro en la red debe ser para asegurar que al menos 0,1 mg/L de cloro residual libre esté presente en las extremidades de la red de distribución (Environmental Protection Agency, 2011).

La dosificación secundaria se realiza solo cuando es necesaria la generación residual (Environmental Protection Agency, 2011).

3.10 Tipos de Cloro

Existen diversos tipos de cloro donde todos tienen la misma función de desinfección en el agua solo que uno más que otros son eficaces según el microorganismo patógeno a destruir a continuación se explica los diversos tipos de cloro.

3.10.1 Cloro Gaseoso, (Cl₂)

El cloro es uno de los desinfectantes más efectivos conocidos y es usado universalmente para la desinfección de los suministros públicos. La adición del cloro a una fuente pública es el paso más importante en el proceso del tratamiento del agua. El agua es propiamente desinfectada, inactivando los organismos patógenos presentes en el agua para poder hacerla de consumo humano (Sawyer et al., 2001).

El cloro se combina con agua en forma de cloro libre o como hipoclorito. En cualquiera de las dos formas actúa como un agente oxidante potente y con frecuencia se disipa en una forma tan rápida por reacciones colaterales, que, si no se aplican cantidades superiores a la demanda de cloro, la desinfección es insuficiente. El cloro se combina con agua para formar ácido hipocloroso (HOCl) y clorhídrico (HCl) (Sawyer et al., 2001):



Los hipocloritos se utilizan en forma de soluciones de hipoclorito de sodio (NaOCl) e hipoclorito de calcio $[\text{Ca}(\text{OCl})_2]$ de alta pureza en forma seca. Ambos compuestos se ionizan en el agua para producir el ion hipoclorito (OCl^-) (Sawyer et al., 2001):



La Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense para el Diseño de Abastecimiento y Potabilización del Agua (NTON 09 003-99) establece que el cloro usado nacionalmente para desinfección del agua puede ser como solución de hipoclorito de sodio (líquido) o como cloro gaseoso. En general, el hipoclorito de calcio se recomienda para abastecimiento de pequeñas poblaciones. También establece que la concentración de cloro residual que debe permanecer en los puntos más alejados de la red de distribución deberá ser 0,2 a 0,5 mg/L después del período de contacto recomendado.

3.10.2 Hipoclorito de Calcio, $\text{Ca}(\text{OCl})_2$

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2011) expone que los alimentadores de hipoclorito de calcio se fabrican para flujos grandes y pequeños. Para flujos más grandes volumétricos o los alimentadores gravimétricos arrojan una cantidad medida (en volumen o peso) en un tanque de disolución (siempre acompañado de mezcla), donde se disuelve y donde la solución se dosifica posteriormente a través de un punto de dosificación en el del mismo modo que el hipoclorito de sodio.

Si se supone el uso de la cal clorada que contiene 33% p/p de cloro, una solución 1% w/v ($10\text{gCl}_2/\text{L}$) se puede hacer mediante la mezcla de 30 kg de tabletas de hipoclorito de alta pureza en 1000 litros de agua. 100 litros de esta solución sería suficiente para dosificar 1000 m^3 de agua (Environmental Protection Agency, 2011).

El uso de estos dispositivos de alimentación para hipoclorito de calcio no es popular para flujos grandes que generalmente son tratado con hipoclorito de sodio líquido (en forma comercial o generada en el sitio) o cloro gaseoso (Environmental Protection Agency, 2011).

Para flujos más pequeños (típicos en sistemas medianos y pequeños), el hipoclorito de alta pureza en forma de tableta sólida es utilizado (aproximadamente 65% w/w Cl_2) (Environmental Protection Agency, 2011).

Estas tabletas pierden menos del 1% al 2% p/p de Cl_2 por año si se almacenan con condiciones apropiadas. La aplicación en forma de tableta tiende a limitarse al uso de cloro en sistema con caudal pequeño ($< 500 \text{ m}^3/\text{día}$) debido al costo y las dificultades prácticas de hacer soluciones acuosas de hipoclorito a partir del producto sólido. Estas tabletas típicamente se usan junto con alimentadores de erosión de tabletas (Environmental Protection Agency, 2011).

Las tabletas más pequeñas están diseñadas para uso individual y contienen cantidades de medida de cloro para la desinfección de un volumen particular de agua. Las soluciones deben prepararse por lotes para su uso. Tanto el hipoclorito de calcio granular como las tabletas incluyen aditivos para evitar la pulverización del material activo y detener la adsorción de humedad. Este material inerte debe separarse del hipoclorito activo disuelto para evitar obstrucciones y bloqueos de bombas y equipamiento (Environmental Protection Agency, 2011).

En el caso del hipoclorito de calcio, la separación de hipoclorito de calcio diluido de materiales inertes puede ser logrado de la siguiente manera (Environmental Protection Agency, 2011):

- Del producto granular, mediante la provisión de un tanque de mezclado separado aguas arriba del tanque de dosificación y mezclando mecánicamente. Después de la mezcla adecuada, el material insoluble inerte se deja sedimentar antes de decantación del líquido disuelto solo al tanque de dosificación.
- Del producto granular, permitiendo que la solución mezclada en lotes repose durante un período de 24 horas antes de la dosificación para que los residuos inertes se sedimenten antes del uso.
- Mediante el uso de alimentadores de erosión de tabletas.

3.10.3 Cloruro de Bromo, BrCl

El cloruro de bromo es un buen desinfectante. Es más caro que el cloro y no tan corrosivo como el bromo. Su hidrolisis en el agua produce ácido hipobromoso, el más potente germicida de los compuestos del bromo, de acuerdo con la siguiente ecuación:



Como se puede observar, el cloruro de bromo se hidroliza para formar ácido hipobromoso (HOBr) y ácido hidrocórico (HCl). La constante de hidrolisis del BrCl en agua es $2,97 \times 10^{-4}$ a 0°C. La bromocloración genera aminas halogenadas. El cloruro de bromo reacciona con el amoníaco para formar bromaminas, las cuales son menos estables que las cloraminas, y se descomponen en sales de cloro y de bromo inocuas en menos de una hora (Ramirez, s.f.).

3.10.4 Dióxido de Cloro, ClO₂

El dióxido de cloro es un buen desinfectante que puede ser usado en donde el pH es un problema ("Cloradores," s.f.).

El dióxido de cloro (ClO₂) es un desinfectante cuya capacidad biocida sobrepasa a la del cloro y sus derivados. Debido a sus cualidades oxidantes selectivas, su aplicación es una alternativa a ser considerada donde además de la desinfección se requiere mejorar la calidad organoléptica del agua. Tiene un gran efecto en el control del sabor y el olor, así como para destruir sustancias orgánicas que proporcionan color o que son precursoras de trihalometanos (THM). Por ello, se aplica especialmente cuando las aguas crudas contienen altas concentraciones de precursores, que con la cloración tradicional darían lugar a la formación de subproductos de la desinfección (SPD) (Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, 1998).

A pesar de ello, su uso como desinfectante en plantas de tratamiento se ve limitado a causa de su complejidad y sensibilidad en la producción y a su relativo costo elevado (Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, 1998).

Comúnmente se genera mediante dos mecanismos: la reacción de clorito de sodio con cloro gaseoso (sistema de dos compuestos químicos) o mediante la reacción de clorito de sodio con hipoclorito de sodio y ácido sulfúrico (sistema de tres compuestos químicos).

(Dos compuestos) $2\text{NaClO}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{ClO}_2 + 2\text{NaCl}$ (21)

(Tres compuestos) $2\text{NaClO}_2 + \text{NaOCl} \rightarrow 2\text{ClO}_2 + \text{NaCl} + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ (22)

3.10.5 Dicloroisocianurato Sódico

Para el tratamiento de rutina de los suministros de agua públicos, hay poco o ningún uso de otros desinfectantes. Algunos productos químicos, tales como compuestos de cloroisocianurato son ampliamente utilizados como una fuente estable de cloro para la desinfección de piscinas y en la industria alimentaria, el dicloroisocianurato sódico se utiliza para emergencias temporales aplicaciones de desinfección como fuente de cloro libre disponible en forma de ácido hipocloroso (HOCl) con la formación residual de ácido cianúrico a partir de su adición al agua. La OMS está preparando actualmente el texto guía sobre el dicloroisocianurato sódico para su inclusión en la 4ª edición de sus *Guías para Calidad del agua potable*. En su documento de antecedentes para el desarrollo de *Pautas para la calidad del agua potable* la OMS recomendó que "*Las cantidades de dicloroisocianurato de sodio utilizadas deberían ser las más bajas con una desinfección adecuada, y las concentraciones de ácido cianúrico deben ser mantenidas tan bajas como sea razonablemente posible*" (Environmental Protection Agency, 2011).

3.10.6 Halazone (Ácido 4 diclorosulfamil benzoico)

Halazone es un polvo blanco hecho de un compuesto de cloro. La cual transmite un fuerte sabor y olor a cloro al agua y pierde el 75% de su actividad cuando es expuesta al aire por dos días (Kahn y Visscher, 1975).

La cloración con Halazone en la dosis recomendada según Witt & Reiff (1993) cuatro mg para la desinfección de un litro da la liberación lenta de 2,8 ppm de cloro libre para su inmediata acción microbiana.

Ese cloro bajo las condiciones ideales con un pH de 7 o inferior y la ausencia de componentes nitrogenados, hidroliza el ácido hipocloroso (HClO) el cual es un excelente germicida. La alta reactividad del ácido hipocloroso HClO es su principal defecto como desinfectante personal del agua, ya que en presencia de iones amino y amoníaco, el HClO se convierte rápidamente en Monocloramina relativamente inactiva (Witt y Reiff, 1993).

Estos dos problemas son solucionados en plantas purificadoras de agua por la práctica de cloración en los puntos de interrupción donde ocurre la aplicación de suficiente cloro para que se unan con la materia orgánica en el agua dejando al mismo tiempo un biocida

residual de 8cloro libre. Pero esta técnica requiere pruebas continuas y no es práctica para tratamientos rápidos de cantidades pequeñas de agua (Kahn y Visscher, 1975).

3.10.7 Chlor-Floc (Dicloro-s-triacinetriona de sodio)

Chlor-Floc (CF) es un desinfectante de emergencia mezclado con un coadyuvante de sedimentación que ayuda a eliminar la suciedad y otras partículas suspendidas del agua por floculación y sedimentación (Powers et al., 1994).

Las partículas coaguladas pesadas se asientan, dejando el agua sobre el sedimento claro y este cuando se disuelve en agua, el ingrediente activo en Chlor-Floc que es dicloroisocianurato de sodio se disocia en ácido hipocloroso e iones cloruro dependiendo del pH final del agua (Powers et al., 1994).

Se debe agregar que la tableta también contiene un sistema de amortiguación que regula las aguas tratadas a un pH que es el más óptimo para lograr la desinfección del agua proporcionando una mejor purificación del agua en un amplio rango de pH y temperatura, y puede no sufrir interferencias por la demanda de químicos orgánicos en los suministros de agua de campo. Debe usarse cuando el agua a tratar está turbia o descolorida (Powers et al., 1994).

Una tableta de 600 mg proporciona 1,4% de cloro disponible (8 ppm de cloro residual libre) y suficiente agente floculante para la clarificación y desinfección de un litro de agua de 10°C a 25°C. Aunque las tabletas de CF remuevan algunas sustancias químicas del agua estas no dependen de su propósito y no producen potencialmente niveles dañinos de componentes orgánicos halogenados en el agua (Powers et al., 1994).

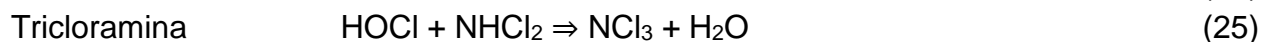
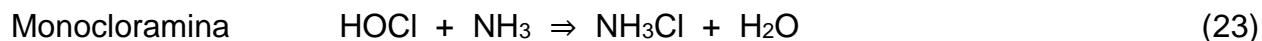
Las tabletas son registradas por la Agencia de Protección Medio Ambiental (EPA) bajo la Ley Federal de Insecticida, Fungicida y Rodenticida el 16 de febrero de 1989 y fue aceptada como un desinfectante seguro y efectivo de los Estados Unidos para tratamientos de agua de 5°C a 25°C (Powers et al., 1994).

3.10.8 Agua Potable o Globaline

Estas tabletas son también conocidas como agua potable. El principio activo es un compuesto del yodo conocido como hidroperóxido tetraglicina. Pierden el 20% de su potencia a las 24 semanas de abierto el frasco (Sanchez, 1997).

3.10.9 Cloraminas

La formación de Cloraminas ocurre cuando se hace reaccionar cloro gaseoso con gas amoníaco en agua y ocurren las reacciones siguientes:



Dependiendo de factores tales como concentración de cloro y amoníaco, así como pH del agua, se forman preferentemente una u otra especie, siendo las más abundantes las monocloroaminas. La práctica de formar cloroaminas en el agua tiene sus ventajas y sus desventajas.

Las ventajas de la cloroaminación es que las cloroaminas son más persistentes químicamente, por lo que su efecto residual es más prolongado y la protección microbiológica del agua es más efectiva, por lo que, si el agua se almacena en tanques antes de su consumo, las cloroaminas protegen la calidad del agua más efectivamente que cuando se hace la desinfección con cloro.

Las monocloroaminas no producen trihalometanos ya que el cloro preferentemente reacciona con el amoníaco y no con la materia orgánica. También algunos consumidores consideran que el sabor del agua se mejora al emplear las cloroaminas. Una de las principales desventajas de la práctica de la cloroaminación es que estos compuestos al ser más persistentes son más tóxicos a los seres vivos, especialmente a las especies acuáticas.

La presencia de cloroaminas en el agua empleada en pacientes de diálisis, por ejemplo, causan complicaciones y deterioro en la salud de estos, por lo que existen regulaciones para garantizar la ausencia de cloroaminas en el agua de usos médicos. El gasto en consumo de reactivos es mayor en la cloroaminación ya que se emplean dos gases y obviamente el costo de inversión de operación y de personal capacitado es mayor ("Water Treatment and Purification," s.f.).

Tabla 5: Tipos de Cloraminas y sus Propiedades

Apariencia	Nombre	Peso molecular	pH requerido	Efecto biocida
NH ₂ Cl	Monocloraminas	52	>7	Bueno
NHCl ₂	Dicloraminas	85	4-7	Tolerable
NCl ₃	Tricloramina	119	1-3	Medio
RNHCl	Cloraminas organicas	Varios	Desconocido	Malo

Fuente: Factores que influyen en la desinfección del agua, s.f.

Arboleda (2000) expone que:

1. Según su efecto del pH: en las bacterias es mejor emplear dicloramina, pero en el caso de los virus, es mejor utilizar la monocloramina.
2. La *Escherichia coli* muere sesenta veces más rápido a pH 7 con una temperatura de 25°C que a pH 9,5 a 6°C (Arboleda, 2000).
3. Ocurren las siguientes condiciones operacionales:
 - Si hay nitrógeno orgánico se forman organocloraminas. No desinfectan, liberan NH₃.
 - Inestabilidad biológica. Genera gustos, olores y colores.
 - Entre pH 7 y 8,5, la reacción Cl₂ + NH₃ es inmediata.
 - Si la mezcla es lenta, forman Subproductos de la Desinfección (SPD).
 - No conviene producir monocloraminas y luego inyectarlas.

3.11 Ecuación de los Números de Microorganismos Sobrevivientes

Ramirez; (s.f.) dice que el número de organismos destruidos por unidad de tiempo es proporcional al número de organismos vivos.

$$N_t = N_o e^{-kt} \quad (26)$$

Donde:

N_t es el número de sobrevivientes

N_o es el número original de microorganismos

k es la constante de reacción

3.12 Reacciones Adversas de la Materia Orgánica con el Cloro

Los mecanismos de formación de los subproductos tienen lugar al reaccionar el agente desinfectante, como sería el caso del cloro y la materia orgánica natural (MON), presente en el agua cruda que está formada principalmente por sustancias húmicas (M. J. Rodríguez et al., 2007).

Hacia la mitad de los años 70, se descubrió que además de desactivar los organismos patógenos, como se espera, el cloro reacciona con la materia orgánica presente en el agua generando subproductos de desinfección (SPD), específicamente compuestos orgánicos sintéticos como los trihalometanos, aunque se ha identificado a otros SPD tales como los ácidos haloacéticos (HAA) (M. J. Rodríguez et al., 2007).

Los trihalometanos son la suma de cuatro compuestos: cloroformo (CHCl_3), Bromodiclorometano (CHBrCl_2), Dibromoclorometano (CHBr_2Cl) y Bromoformo (CHBr_3).

Los HAA son la suma de varios ácidos haloacéticos; cinco de ellos (llamados en adelante HAA_5) son los ácidos monocloraacético (CH_2ClCOOH), dicloroacético (CHCl_2COOH), tricloroacético (CCl_3COOH), monobromoacético (CH_2BrCOOH) y dibromoacético (CHBr_2COOH) (M. J. Rodríguez et al., 2007).

Se han detectado asimismo otros SPD, tales como dicloroacetoniitrilo, tricloroacetoniitrilo, bromocloroacetoniitrilo, dibromoacetoniitrilo, 1,1-dicloro-2 propanona, etc. Sobre estos subproductos se hace menor énfasis, ya que los THM, seguidos de los HAA_5 , son los subproductos que se encuentran en mayor cantidad en el agua potable clorada (M. J. Rodríguez et al., 2007).

La utilización de desinfectantes alternativos (Cloramina y Dióxido de cloro) también genera SPD. El uso de cloramina está asociado no solo a la formación de THM y de HAA_5 (aunque en menos cantidades que cuando se usa cloro) sino también a la de nitritos, nitratos, haloacetonas y N-Nitrosodimetilamina (NDMA). El dióxido de cloro genera cloritos y cloratos (M. J. Rodríguez et al., 2007).

Además de ser económico, el cloro es un poderoso agente desinfectante. Permite la destrucción de gérmenes patógenos y tiene la ventaja de dejar un residuo en la red de distribución, lo que impide la reaparición de estos gérmenes en la red de agua potable (M. J. Rodríguez et al., 2007).

En contraposición, el cloro genera inconvenientes organolépticos evidentes (gusto y olor del cloro), además de producir grandes concentraciones de SPD clorados. La cloramina tiene la ventaja de producir menores concentraciones de SPD, pero su efecto bactericida es comparativamente menor que el del cloro (M. J. Rodríguez et al., 2007).

El dióxido de cloro tiene como inconveniente principal la formación de subproductos tóxicos inorgánicos (M. J. Rodríguez et al., 2007).

La formación de los SPD es el resultado de una reacción entre el agente desinfectante (El cloro) y la materia orgánica natural (MON) constituida en gran parte por sustancias húmicas y que está presente naturalmente en el agua cruda (sin ningún tratamiento) (M. J. Rodríguez et al., 2007).

La reacción entre cloro y MON se inicia desde la adición del desinfectante y se mantiene hasta el agotamiento de los reactantes M. J. Rodríguez et al. (2007) hace mención un mecanismo de formación de los THM a partir de las moléculas de tipo resorcinol.

La oxidación por el ácido hipocloroso (HOCl) permite una halogenación y la iniciación del ciclo aromático. Por consiguiente, una fractura de la molécula (en a) forma los trihalometanos y la fractura por la inserción de un hidróxido (en b) permite la formación de un ácido haloacético mientras que una tercera fractura (en c) forma halocetonas donde la reacción de formación de los SPD es afectada por varios parámetros como la temperatura y el pH del agua, la cantidad de MON presente, la concentración de iones bromuro, la dosis de desinfectante y el tiempo de contacto entre el desinfectante y la MON (M. J. Rodríguez et al., 2007).

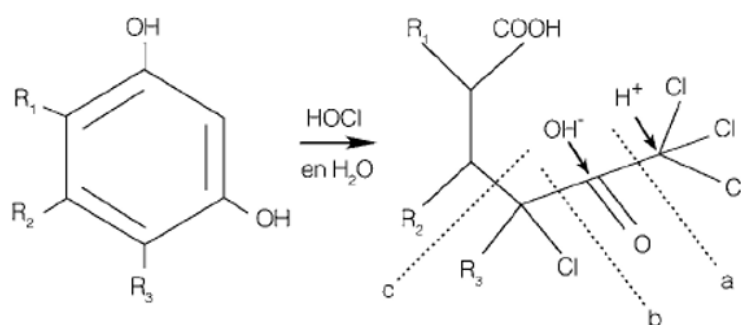


Figura 4: Mecanismo de Formación de SPD

Fuente: Rodríguez et al., 2007.

Estos factores que afectan la formación de los SPD, pueden ser reagrupados en dos categorías: los parámetros de la calidad del agua relacionados directamente con las características del agua cruda (MON e iones bromuro) y los parámetros operacionales (pH, temperatura, dosis de desinfectante y tiempo de contacto) (M. J. Rodríguez et al., 2007).

3.13 Influencia de Cloración de Materia Orgánica

La materia orgánica natural (MON) es el precursor de los SPD en el agua potable. Está presente de manera natural en el agua sin tratar, pero su cantidad y reactividad varían de acuerdo con las fuentes de agua (lagos, ríos, arroyos, agua subterránea). Resulta principalmente de la degradación total o parcial de la fauna y flora circundantes que conforman el sistema acuífero utilizado para captar el agua (M. J. Rodríguez et al., 2007).

Las características de la MON varían de un curso de agua a otro. Esto implica que sus características químicas difícilmente pueden ser generalizadas y deben determinarse en cada caso. En general, se considera que la materia orgánica está dividida en dos categorías diferentes: la materia hidrófoba (ácidos húmicos y fúlvicos) y la materia hidrófila (proteínas, carbohidratos y aminoácidos), siendo los ácidos húmicos los compuestos de la MON con el mayor peso molecular, debido principalmente a la alta concentración de carbono aromático con relación a la concentración de los ácidos carboxílicos y carbonilos. Los ácidos fúlvicos tienen un peso molecular inferior al de los ácidos húmicos y su concentración en carbonos aromáticos es menor; sin embargo, las concentraciones de carbonilo y ácidos carboxílicos en los ácidos fúlvicos son superiores a las de los húmicos (M. J. Rodríguez et al., 2007).

Los ácidos fúlvicos representan la fracción mayor de la MON (~50%), mientras que los ácidos húmicos son el 5%. Los ácidos húmicos favorecen la formación de los SPD por su mayor concentración en carbono aromático, pero como los ácidos fúlvicos están presentes en mayor cantidad en la MON, los SPD son formados principalmente por estos últimos (M. J. Rodríguez et al., 2007).

Los indicadores de la presencia de MON más utilizado es el carbono orgánico total (COT) o el carbono orgánico disuelto (COD). El parámetro COT informa sobre la cantidad de MON existente y disponible para la reacción, donde un aumento tiende a favorecer la formación de SPD (M. J. Rodríguez et al., 2007).

En general, mientras mayor sea la concentración de COT, más importante será la reacción entre la MON y el desinfectante, lo que favorece la formación de una gran cantidad de SPD (M. J. Rodríguez et al., 2007).

M. J. Rodríguez et al. (2007) dice que la MON está afectada directamente por el tratamiento fisicoquímico aplicado al agua cruda en la planta de tratamiento. El tratamiento permite la disminución de la MON, lo que reduce la formación de los SPD. Tres procedimientos eficaces para este fin son la coagulación mejorada o sobrecoagulación, la filtración con carbón activado granular (CAG) y la filtración a través de membranas. Sin embargo, estas técnicas por sí solas no remueven toda la MON presente en el agua. También, hay otros factores que influyen en los SPD como los que se detallan a continuación:

3.13.1 Los Iones Bromuros

La presencia de iones bromuro es otro factor que tiene relación con los parámetros de calidad del agua cruda y tienen incidencia en la cantidad de SPD originados. En la formación de THM la presencia de iones bromuro no afecta tanto la cantidad de los THM formados como la proporción relativa de las cuatro sustancias que los componen. En efecto, la presencia de concentraciones importantes de bromuro conduce a que se forme una mayor proporción de iones de THM a base de productos bromados en relación con los THM totales. Las concentraciones de iones bromuro son muy bajas en aquellas regiones cuyo aprovisionamiento se hace con aguas superficiales que no sufren penetraciones salinas provenientes de algún depósito cercano de agua salada. En esas condiciones se formará cloroformo (CHCl_3) en mayor proporción (M. J. Rodríguez et al., 2007).

La presencia de iones bromuro afecta también la velocidad de formación de los SPD. Los bromuros son oxidados por el ácido hipocloroso (HOCl) para formar ácido hipobromoso (HOBr), el cual reacciona de inmediato en combinación con el ácido hipocloroso para formar subproductos bromados. El ácido hipobromoso reacciona más fácilmente con la MON que el ácido hipocloroso por ser un agente más eficaz de sustitución halógeno. Estos autores observaron en ensayos de potencial de formación de los THM que, en términos generales, menos del 10% del HOCl estaba incorporado en los THM clorados mientras que para el HOBr ese porcentaje se elevaba a 50% en los THM bromados (M. J. Rodríguez et al., 2007).

3.13.2 El pH

El pH condiciona las características de las reacciones químicas responsables de la formación de los SPD y puede ser considerado como un parámetro operacional, ya que su valor es susceptible de ser ajustado antes de la desinfección (M. J. Rodríguez et al., 2007).

La reacción responsable de la formación de los THM se lleva a cabo en dos etapas. Por una parte, la cinética de la primera etapa es favorecida por la presencia de la forma no ionizada del HOCl en pH ácido; por otra, la segunda etapa es una hidrólisis catalítica en medio básico, favorecida cuando el pH es más alto. Como al final la determinante es la segunda etapa, la formación de los THM será favorecida en un pH elevado. No obstante, el pH afecta de manera diferente a los otros SPD (M. J. Rodríguez et al., 2007).

3.13.3 La Temperatura

En el caso de la formación de THM, una temperatura más alta favorece la velocidad de reacción entre el cloro residual y la MON, por lo que las concentraciones de THM en el agua contenida en la red de distribución son mayores en el verano. Además de afectar la velocidad de reacción responsable de la formación de los SPD, las condiciones estacionales afectan también la disponibilidad de los precursores (MON) y su composición (M. J. Rodríguez et al., 2007).

Por ejemplo, el régimen térmico de las aguas superficiales, contribuye al aumento de la carga orgánica del agua cruda. De igual manera, las condiciones lluviosas favorecen el escurrimiento de la materia orgánica hacia los cursos de agua. Finalmente, la congelación en invierno constituye una barrera física contra la contaminación de los cursos de agua debida a la MON (M. J. Rodríguez et al., 2007).

3.14 Dosis de Cloro y Tiempo de Contacto

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA,2011) menciona que el uso de la desinfección del suministro de agua como medida de salud pública es lo que ha sido responsable para una reducción importante en personas que contraen enfermedades del agua potable. Sin embargo, muchos de estos desinfectantes que son productos químicos si se sobredosifica o se usa de manera inapropiada, como parte de un proceso de tratamiento de agua, puede resultar la formación de subproductos de desinfección.

El único indicador confiable del rendimiento de cloración para el control en tiempo real de bacterias y virus es la existencia de una concentración residual de cloro después de un tiempo de contacto especificado.

La desinfección química efectiva requiere el mantenimiento de una concentración específica (C) de desinfectante y tiempo de contacto (t), para alcanzar un valor objetivo para Ct. Habrá valores mínimos para el tiempo de contacto y, más significativamente, una concentración de desinfectante por debajo de la cual no se aplicará el concepto de Ct, porque los valores de C y t son tan bajos que afectan drásticamente el rendimiento de la desinfección (Environmental Protection Agency, 2011).

En la práctica, sin embargo, es poco probable que sea una consideración significativa para aplicaciones de tratamiento de agua. El concepto de Ct es particularmente valioso al proporcionar un medio para comparar la efectividad de la desinfección de desinfectantes químicos. Para un microorganismo dado, los desinfectantes fuertes poseen bajos valores de Ct y los desinfectantes pobres presentan valores altos de Ct (Environmental Protection Agency, 2011).

Para diferentes organismos, los valores de Ct proporcionan una comparación de la resistencia de diferentes organismos al mismo desinfectante. Además, el concepto de Ct permite el cálculo del tiempo de contacto (en una concentración de desinfectante dada) o la concentración (en un tiempo de contacto dado) que se calculará para lograr un porcentaje requerido o inactivación de registro (Environmental Protection Agency, 2011).

La cinética de la desinfección es descrita por la ley de Chick-Watson (Environmental Protection Agency, 2011):

$$\frac{dN}{dt} = -K C^n N \quad (28)$$

Donde:

N es la concentración de organismos viables.

-K es la constante de velocidad

C es la concentración del desinfectante

n es la constante

t es el tiempo

De acuerdo a la Ley anterior existen los valores de eliminación de registro conocidos como LRV (Log Removal Values) por sus siglas en inglés que representan una medida de la capacidad de un proceso de tratamiento para eliminar microorganismos patógenos ("Log removal values in wastewater treatment," 2014).

Se determinan tomando el logaritmo de la proporción de la concentración de patógenos en el afluente y del efluente de un proceso de tratamiento donde ("Log removal values in wastewater treatment," 2014):

- Un LRV de 1 es equivalente al 90,00% de remoción de un patógeno objetivo.
- Un LRV de 2 es equivalente al 99,00% de remoción de un patógeno objetivo.
- Un LRV de 3 es equivalente al 99,90% de remoción de un patógeno objetivo.

$$LRV = \log_{10} \left[\frac{\text{Concentración de Patógenos en el Afluente}}{\text{Concentración de Patógenos del efluente}} \right] \quad (29)$$

La Tabla 6 muestra como la temperatura y el pH influye en la Concentración x tiempo del cloro libre (Lázaro, s.f.):

Tabla 6: Valores de Ct para la Inactivación de Virus por Cloro Libre						
Temperatura	Log Inactivación					
	2,0 Log		3,0 Log		4,0 Log	
	pH 6-9	pH 10	pH 6-9	pH 10	pH 6-9	pH 10
0,5	6	45	9	66	12	90
5	4	30	6	44	8	60
10	3	22	4	33	6	45
15	2	15	3	22	4	30
20	1	11	2	16	3	22
25	1	7	1	11	2	15

Fuente: Lázaro, s.f.

De igual manera sucede también con las cloraminas específicamente con las monoclорaminas donde se da el efecto combinado de pH y temperatura para *Escherichia coli* donde es sesenta veces más rápido a pH 7 y 25°C que a pH 9,5 en 6°C (Lázaro, s.f.).

Tabla 7: Valores de Ct para la inactivación de Quistes de *Giardia* usando Cloraminas

Inactivación	Temperatura(°C)		(mg-min/L)		
	5	10	15	20	25
0,5 log	365	310	250	185	125
1 log	735	615	500	370	250
1,5 log	1100	930	750	550	375
2 log	1470	1230	1000	735	500
2,5 log	1830	1540	1250	915	625
3 log	2200	1850	1500	1100	750

Fuente: Lázaro, s.f. Los valores mostrados están basados en un rango de pH 6-9.

Tabla 8: Valores de Ct para la inactivación de Virus usando Cloraminas

Inactivación	Temperatura(°C)		(mg-min/L)		
	5	10	15	20	25
2 log	857	643	428	321	214
3 log	1423	1067	712	534	356
4 log	1988	1491	994	746	497

Fuente: Lázaro, s.f.

3.15 Tipos de Clorinadores y Bombas Clorinadoras

En el presente acápite se presentan los diferentes tipos de clorinadores: el clorador CTI-8, el clorador a gas y bombas clorinadoras donde los dos tienen el mismo objetivo de ser un medio sencillo y eficaz para desinfectar el agua.

3.15.1 Clorador CTI-8

En Nicaragua se está implementando en los sistemas de Mini Acueducto por Gravedad (MAG). Es un aparato de bajo costo, de mantenimiento mínimo, y no usa electricidad. El aparato subministra una dosis de cloro, lo cual elimina parásitos y bacterias reduciendo el riesgo a enfermedades como el cólera y la hepatitis (Jacob y Taflin, s.f.).



Figura 5: Clorador CTI-8

Fuente: Jacoby Taflin, s.f.

Tiene la capacidad de clorar el agua erradicando microorganismos causantes de enfermedades que se encuentran en la mayoría de sistemas rurales de agua potable. El CTI-8 logra desinfección cuando el agua tiene contacto con pastillas sólidas de cloro, metido en un aparato hecho de tubos de PVC (Jacob y Taflin, s.f.).

El Clorador está construido de tubos de PVC-40 de 3" y de 4" (pulgadas) de diámetro, y una tablilla de PVC de ¼" de grueso, utilizando pastillas de cloro de 2 ½" pulgadas de diámetro (6,35 cm). Este tipo de Clorador se puede construir en pocas horas utilizando herramientas sencillas (Jacob y Taflin, s.f.).

El CTI 8 fue desarrollado durante tres años de investigaciones, más tres años de pruebas del campo en veintiuna instalaciones en sistemas rurales en Nicaragua, dándole servicio a 7 000 (siete mil) habitantes. Los datos recabados de estas pruebas preliminares demuestran que el CTI-8, correctamente construido y utilizando las pastillas apropiadas, es un aparato de desinfección de agua que entrega una dosis de cloro apropiada y controlada, con mantenimiento mínimo, en sistemas de agua potable con poco flujo de agua hasta sistemas con un flujo mediano (Jacob y Taflin, s.f.).

El clorador CTI 8 puede tratar un sistema de mini acueducto por gravedad (MAG) con un caudal entre 2 y 20 galones de agua por minuto (gpm.) Si la demanda de cloro necesaria para tratar el agua es mínima, el clorador puede tratar sistemas con flujos mayores de 20 gpm (Jacob y Taflin, s.f.).

3.15.2 Clorador de Gas

El cloro gas es uno de los desinfectantes más económicos que se utilizan para la desinfección de flujos importantes de agua, seguro y sencillo de manejar, atendiendo los lineamientos establecidos para ello. El clorador se adapta directamente al cilindro del cloro y opera completamente a vacío; el vacío se crea al hacer pasar un flujo de agua a presión determinada por el eyector ("Clorinacion por Gas," s.f.).



Figura 6: Clorador a Gas

Fuente: Fustamente y PROAGUA, 2017.

El resorte en el interior de la válvula de entrada, la mantiene cerrada mientras no hay vacío. El vacío producido por el eyector, mueve el diafragma hacia atrás, comprime el resorte y el diafragma empuja la válvula de entrada del clorador permitiendo el flujo del cloro hacia el interior del clorador ("Clorinacion por Gas," s.f.).

Como se dijo anteriormente, el clorador se adapta directamente a la válvula del cilindro. Al cesar el vacío, instantáneamente la válvula de entrada se vuelve a cerrar, por efecto del resorte, razón de que ya no está presente la fuerza que lo mantenía comprimido, de igual manera si hubiera una rotura de la línea del clorador al punto de aplicación, la válvula cerraría el suministro del cloro. Aun cuando por accidente se rompiera el rotámetro, el sistema se cerrará, por ello nunca ocurrirá una fuga de cloro ("Clorinacion por Gas," s.f.).

3.15.3 Bomba Dosificadora Digital TPG

Con pantalla digital para calibración, medición en ppm, gestionable mediante una señal de 4-20 mA, en frecuencia o en pulsos. Disponibles para caudales de hasta 50 L/h y

presiones máximas de 18 Bar. Dispone de gestión de estadísticas y varios idiomas de configuración ("Potabilizacion," 2014).



Figura 7: Bomba Dosificadora Digital TPG

Fuente: "Potabilización", 2014.

3.15.4 Bomba Analógica APG

De características similares a la bomba TPG, pero de tipo analógico para aplicaciones más sencillas en las que no se requiera un control tan preciso de la dosificación ("Potabilizacion," 2014).

3.15.5 Bomba de Dosificación TPT para Acople con Sonda de Cloro y/o pH

Es un instrumento 2 en 1 con dosificación y medición en el mismo equipo. Para instalaciones sencillas en las que se requieran una medida directa de cloro o pH y quiera realizarse con un equipo sencillo y compacto. Se encuentra a una presentación a 12 V para aplicaciones con alimentación fotovoltaica ("Potabilizacion," 2014).



Figura 8: Bomba de Dosificación TPT para Acople con Sonda de Cloro y/o pH

Fuente: "Bomba de Dosificación TPT para Acople con Sonda de Cloro y/o pH", s.f.

3.15.6 Bomba Dosificadora a Pilas con Programación Temporizada

Ideal para pequeñas dosificaciones de cloro en depósitos de tamaño reducido sin alimentación eléctrica. Mediante una programación horaria se dosificará una cantidad de cloro todos los días ("Potabilización," 2014).

3.16 Importancia de las Bombas Dosificadoras

Las bombas dosificadoras tienen una de las grandes responsabilidades dentro del proceso de la purificación del agua; debido a que suministra la dosis química necesaria para su desinfección final.

Ya que el lugar donde se encuentra el vital líquido no es apto para el consumo de los seres vivos porque contienen sustancias y bacterias propias del lugar ("Bomba Dosificadora, Su Importancia en la Purificación del Agua," 2018).

3.17 Enfermedades de Origen Hídrico

Al consumir agua contaminada surgen las llamadas "enfermedades de origen hídrico" donde los causantes son microorganismos, como virus, bacterias y protozoarios o sustancias químicas. Cabe agregar que llegan al agua como consecuencia del mal manejo de las excretas humanas y de animales de sangre caliente, así como por deficiencias en el tratamiento y la disposición de las aguas residuales originadas en los

hogares, la industria, agricultura y demás actividades humanas ("Enfermedades de Origen Hidrico," s.f.).

COSUDE (2007) reporta algunas enfermedades de origen hídrico:

Amebiasis Agente: *Entamoeba histolytica* (Protozoo)

Síntomas

Gravedad variable, desde disentería aguda o fulminante con fiebre, escalofríos y diarrea sangrienta y mucoide hasta malestar abdominal leve con diarrea sangrienta o mucoide con períodos de estreñimiento o remisión. La infección a largo plazo puede causar úlceras o abscesos que a menudo producen infecciones secundarias. La muerte por disentería amebiana es rara.

Transmisión

Por el agua contaminada con heces o por manipuladores de alimentos que son portadores y no practican una higiene adecuada. Hay dos etapas de vida que pueden transmitir la infección el quiste y el trofozoíto. El trofozoíto es sensible al pH bajo y a agentes oxidantes. Los quistes son muy estables en el ambiente y resistentes a la desinfección. Los gatos, perros y otros mamíferos han sido implicados como portadores a los seres humanos. Las epidemias suelen propagarse por beber agua potable contaminada. Los casos asintomáticos pueden ser portadores durante años.

Ascariasis Agente: *Ascaris lumbricoides* (Lombriz Intestinal)

Síntomas

Gusanos vivos que pasan con las heces fecales o algunas veces por la boca o la nariz; la mayoría de los casos (85% aproximadamente) son asintomáticos. Especialmente en los niños, causa desnutrición, excitación e insomnio. Los casos avanzados presentan obstrucción intestinal, deficiencia nutricional grave si migra a los pulmones, puede ocurrir tos y sibilancia. Ocurre en el mundo entero, registrándose la incidencia más alta en las zonas tropicales.

Transmisión

Ingestión de huevos infectados tomados del suelo o con alimentos crudos o poco cocidos; se pasa entre los niños por el manejo de juguetes contaminados con heces y por la defecación en áreas comunales. Los huevos son viables durante varios meses.

Especialmente prevalece en los niños de 3 a 8 años en climas calientes y húmedos. El ser humano es el único reservorio conocido, pero los animales domésticos como perros, cerdos y pollos pueden servir de vectores al transportar heces humanas que contienen huevos de áscaris. En varios países de América Latina, los suministros de agua no tratada han sido implicados en la transmisión de los huevos.

Balantidiasis Agente: *Balantidium coli* (Protozoo)

Síntomas

Diarrea, náusea y vómitos; las heces pueden contener sangre. Al igual que en la amibiasis, puede causar disentería y tiene dos etapas infectivas (quiste y trofozoíto). A menudo se confunde con la amibiasis.

Transmisión

La ingestión de los quistes en alimentos o agua contaminados con heces. Especialmente prevalente cuando el saneamiento es deficiente y los suministros de agua está contaminados por heces porcinas.

Cólera Agente: *Vibrio cholerae* (Bacteria)

Síntomas

Inicio agudo y súbito de diarrea aguada de "heces de arroz", con deshidratación rápida y vómitos ocasionales.

Transmisión

La ingestión de agua o alimentos contaminado por las heces o el vómito de individuos infectados; el manejo de alimentos siguiendo métodos antihigiénicos; el consumo de moluscos y crustáceos crudos. El microorganismo sobrevive más tiempo en aguas salobres y alcalinas.

Criptosporidiosis Agente: *Cryptosporidium* (Protozoo)

Síntomas

Diarrea acuosa o mucoide que dura de 3 a 14 días; vómito, anorexia y dolor abdominal; tos y radiografías anormales del tórax pueden indicar infecciones pulmonares; a menudo pérdida considerable de peso, puede causar síntomas graves en inmunocomprometidos.

Transmisión

La ruta de transmisión es fecal-oral. Los quistes son sumamente resistentes al tratamiento estándar del agua; el agente con frecuencia ha sido identificado en fuentes de agua contaminadas por desechos bovinos. Los trabajadores de mataderos y veterinarios son los que más riesgo corren.

Dracunculiasis Agente: *Dracunculus medinensis* (Nematodo)

Síntomas

Esta enfermedad no se encuentra en América Latina, pero es común en África y Asia. Una ampolla (a menudo dura varios meses), generalmente en la parte inferior de la pierna o en el pie, donde el gusano hembra deposita las larvas, acompañado de ardor y comezón; fiebre, diarrea y vómitos; malestar general. Esta enfermedad no suele ser mortal, pero puede dar lugar a artritis crónica, tétanos e infección secundaria. Si el gusano muere antes de extraerlo, puede producirse gangrena y esta dar lugar a la amputación.

Transmisión

Única enfermedad que se propaga exclusivamente por el agua de bebida; las larvas descargadas por la persona infectada son ingeridas por el copépodo de agua dulce y este agente luego es ingerido por los seres humanos cuando toman agua infectada. El copépodo prefiere el agua estacionaria, por lo tanto, los pozos abiertos, las represas y las lagunas pueden ser lugares ideales para la propagación de la enfermedad.

***Escherichia coli* Agentes: Bacterias; Entero invasivo (Toxinas como la *shigella*)**

Es un síndrome similar al *Vibrio cholerae*; también conocida como diarrea del viajero; se sabe que causa brotes infantiles en salas de recién nacidos. Los tipos pueden distinguirse serológicamente en pruebas clínicas.

Síntomas

Los tipos invasores y patogénicos causan fiebre, diarrea (a veces sangrienta). El tipo tóxico causa inicio agudo de diarrea acuosa, retortijones y vómitos que generalmente duran de 1 a 3 días.

Transmisión

Se propaga por alimentos, agua y fómites contaminados. Los seres humanos son el reservorio principal. Todos los grupos de edad son sensibles, y la inmunidad adquirida no es permanente.

Giardiasis Agente: *Giardia lamblia* (Protozoo)

Síntomas

Diarrea crónica, heces flojas frecuentes, pálidas, grasientas y fétidas, fatiga. La enfermedad puede durar más de tres meses, pero no es mortal. Sin embargo, puede provocar la desnutrición y la fatiga y está muy difundida en las guarderías.

Transmisión

Ruta fecal-oral por el agua, los alimentos y de la mano a la boca. Los animales como los castores y las ratas son portadores conocidos. Han ocurrido brotes por fuentes de agua contaminada, y por manipuladores de alimentos con manos contaminadas. Los individuos infectados arrojan grandes cantidades de quistes mientras dura su enfermedad.

Hepatitis Agente: Virus de hepatitis A

Síntomas

Ictericia, fiebre leve a grave, malestar; algunas veces dura varios meses. Los adultos manifiestan síntomas más graves que los niños. La enfermedad es endémica en todo el mundo.

Transmisión

Ruta fecal-oral, especialmente por el agua y los alimentos contaminados, en particular moluscos y crustáceos. Período de incubación de un mes aproximadamente, con la mayor descarga del virus dos semanas después de la exposición.

Leptospirosis Agente: *Leptospira interrogans* (Espiroqueta)

Síntomas

Fiebre, cefalea, malestar grave; sufusión conjuntival; a veces meningitis o ictericia y erupción. Los síntomas clínicos pueden durar desde varios días hasta semanas. La muerte es rara, pero aumenta en individuos con problemas renales o en los ancianos.

Transmisión

Contacto de la piel o membranas mucosas con agua, suelo o vegetación húmeda contaminada con orina infectada de animales de granja o salvajes; ingestión de orina contaminada de ratas infectadas. El período de incubación promedia 10 días.

Paratifoidea Agente: Los tipos de *Salmonella paratyphi A, B y C* (Bacterias)

Síntomas

Fiebre continua, cefalea, malestar, a veces manchas rosadas en el torso. Raras veces mortal. Pueden ocurrir recaídas en 3,5 % de los casos.

Transmisión

Contacto con alimentos o agua contaminados. Se puede propagar por heces o la orina de la persona infectada. Los individuos asintomáticos a menudo propagan la enfermedad

(especialmente los manipuladores de alimentos). El período de incubación es de 1-10 días para el trastorno gastrointestinal y de hasta tres semanas para la fiebre entérica.

Tifoidea Agente: *Salmonella typhi* (Bacterias)

Síntomas

Igual que los de la paratifoidea, sólo que más graves; la tasa de letalidad puede ser muy alta si no se administran antibióticos. El estreñimiento es más común que la diarrea.

Transmisión

La leche y los moluscos y crustáceos también son responsables. Los síntomas clínicos generalmente se desarrollan entre 14-21 días después de la exposición. La transmisión máxima ocurre en la estación más caliente.

Poliomielitis Agente: Tipos de poliovirus 1, 2 y 3 (Virus)

Síntomas

Dolor y espasmo muscular, fiebre, contracción del cuello o espalda que puede progresar hasta la parálisis; náusea y vómitos. Los casos no paralíticos se manifiestan como meningitis aséptica. Existe una vacuna eficaz.

Transmisión

Contacto directo por estrecha asociación; ruta fecal-oral. Se ha implicado el riesgo con efluente no tratado de aguas residuales. El período de incubación para los casos paralíticos es 7-14 días.

Rotavirus Agente: Rotavirus de la familia *Reoviridae*

Síntomas

Muy prominente en los lactantes y niños pequeños, causa diarrea grave, anorexia y deshidratación. Algunos casos pueden presentar hemorragia gastrointestinal, el mortal síndrome de Reye, encefalitis y enfermedad de las vías respiratorias superiores e inferiores.

Transmisión

Ruta fecal-oral y posiblemente fecal-respiratoria. El período de incubación es de unas 48 horas. La ocurrencia máxima es en los meses más frescos.

Shigelosis Agente: *Shigella dysenteriae, flexneri, boydii y sonnei* (Bacterias)

Síntomas

Diarrea acompañada de fiebre, retortijones, náusea y convulsiones en niños pequeños; a menudo hay mucosidad y pus en las heces. Ocurrencia mundial, con una tasa de letalidad de hasta el 20%.

Transmisión

Directa o indirecta fecal-oral, causando la infección una dosis tan bajo como 10- 100 bacterias. Sobrevive bien a baja temperatura, humedad elevada e incluso a un pH bajo (como jugo cítrico). El agua, la leche y las aguas residuales sirven de vehículos de transmisión. La incubación dura de 1-7 días.

***E. coli* Verocitotoxigénica (VTEC) Agente: Bacterias**

Síntomas

Diarrea con sangre, disminución de la orina, sangre en la orina, dolor abdominal, vómitos, fiebre ocasional, palidez, hematomas pequeños, sangrado por la nariz y la boca, fatiga e irritabilidad, confusión o convulsiones todos estos síntomas antes mencionados son propios del síndrome hemolítico urémico que puede provocar una función renal anormal a largo plazo (Environmental Protection Agency, 2011).

Transmisión

De persona a persona, agua con el consumo de alcohol, agua de pozos privados no tratados lo cual es un factor de riesgo importante para la infección, particularmente después de períodos de lluvia (Environmental Protection Agency, 2011).

3.18 Higiene

Cuando se practica la falta de higiene, las enfermedades relacionadas con el agua se extienden rápidamente. Ninguna cantidad de grifos o inodoros por sí solo puede evitarlo (Water Aid, s.f.).

Por el simple hecho de lavar las manos con agua y jabón después de ir al baño y antes de preparar alimentos o comer, las personas pueden evitar enfermedades mortales relacionadas con el agua. Lavarse las manos por sí sola podría reducir el riesgo de diarrea casi a la mitad, ahorrando cientos de vidas de los niños todos los días (Water Aid, s.f.).

Sin embargo, la mejora de los hábitos de higiene a menudo puede ser pasada por alto. Abordar el tema es difícil y lleva mucho tiempo. Requiere de hablar con la gente sobre cuestiones potencialmente sensibles y conseguir que cambiar a largo plazo, esos arraigados hábitos (Water Aid, s.f.).

El Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia conocida como UNICEF propone el higiene de manos en la sala de neonatología para evitar las infecciones intrahospitalarias donde a través del lavado de mano se remueve la suciedad visible de las manos, disminuir la colonización de los pacientes con gérmenes nosocomiales, prevenir las infecciones que los pacientes adquieren en el hospital, prevenir la transferencia bacteriana desde la casa al hospital y viceversa y reducir las muertes neonatales por sepsis. También promueve mediante sus folletos normas de higiene personal en la familia y en la escuela recalcando la importancia para la salud donde adjuntan una hoja de observación para revisar cada lugar que ellos visitan ("Los hábitos de higiene," 2005).

En el periodo 2008-2013 el Programa de Agua, Saneamiento e Higiene (AGUASAN) y la Cooperación Suiza en América Central implementaron la metodología Familia, Escuela y Comunidad Saludables (FECSA) donde más de 9 000 pobladores de zonas rurales adaptaron al menos tres hábitos correctos de higiene como lavarse las manos después de ir al baño y antes de comer o cocinar y también se logró mejorar las instalaciones sanitarias en cuarenta y tres escuelas de las comunidades que participaron en el programa (AGUASAN, s.f.) (Central;, s.f.).

.

IV. DESCRIPCIÓN DE LOS TRES MUNICIPIOS EN ESTUDIO

En este capítulo se trata sobre la descripción de los municipios a los que pertenecen las comunidades que se estudiaron desde un punto de vista de extensión territorial, población, cantidad de vivienda, porcentaje de cobertura agua mejorada, porcentaje de cobertura de saneamiento mejorado, sistemas de agua, prestadores de servicios, prestadores de asistencia técnica, centros de salud, flora, fauna, nivel de escolaridad, de recolección de basura, personas con servicios de agua potable y actividades socioeconómicas.

4.1 Descripción del municipio de Bonanza, Región Autónoma Costa Caribe Norte (RACCN)

Según “Nicaragua” (2019) Bonanza tiene una extensión territorial de 1 898 Km² cuenta con 24 366 pobladores, 1 328 hogares, 23,51% de cobertura de agua mejorada y 19,08% correspondiente a la cobertura de saneamiento mejorado. El Sistema de Información de Agua y Saneamiento Rural (SIASAR) no presenta el 76,49% restante del porcentaje de la mejora de la calidad del agua ni el 80,92% de la evaluación anual mundial sobre saneamiento y agua potable.

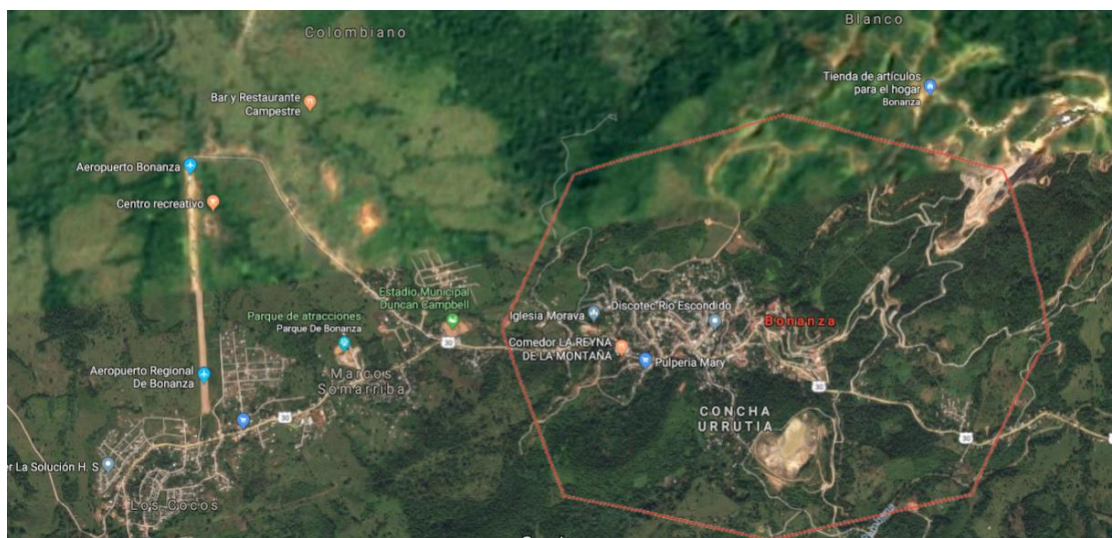


Figura 9: Vista Satelital de Bonanza, RACCN

Fuente: GOOGLE, 2018.

A continuación, se presenta los dos sistemas de agua muestreados en Bonanza:

Tabla 9: Sistemas de Agua en Bonanza

Sistema	Ubicación	Hogares Atendidos	Habitantes Atendidos
Wangki	Casco Urbano, Bonanza		
Santa Rita	Santa Rita		

Fuente: Nicaragua, 2018. MAG: Mini Acueducto por Gravedad. PEBM: Pozo Excavado a mano equipado con Bomba de Mecate.

Acorde con lo anterior existe sus prestadores de servicios:

Tabla 10: Prestadores de Servicios en Bonanza

Prestadores	Ubicación	Hogares Atendidos	Habitantes Atendidos
CAPS Los Cocos	Casco Urbano, Bonanza		
CAPS Santa Rita	Santa Rita		

Fuente: Nicaragua, 2018.

Solo cuenta con un prestador de asistencia técnica:

Tabla 11: Prestadores de Asistencia Técnica en Bonanza

Prestadores	Ubicación	Hogares Atendidos	Habitantes Atendidos
UMASH Los Cocos	Casco Urbano, Bonanza		
UMASH Santa Rita	Santa Rita		

Fuente: Nicaragua, 2018.

Según “Bonanza” (2013) el municipio de Bonanza cuenta con un 54% de población infantil y adolescente y en los diferentes ámbitos como de Salud: con ocho puestos de salud y un hospital; Educación: con cincuenta y siete escuelas públicas, Ciento ochenta y ocho maestros de primaria y con un nivel de alfabetismo de 60,9%; Empleo y Migración: 2,5% de personas desempleadas, 2,2% de desempleo joven (18-29 años), 0,3% de migración, 57,3% con acceso a letrina, 63,7% con piso, 78,6% de tenencia de vivienda, 18,2% de índice de hacinamiento, 0,67% de jefes de hogar mujeres y un índice de masculinidad de 1%.

Su principal actividad económica es la agricultura. El clima predominante en el municipio es de trópico húmedo; la temperatura promedio anual es de 25°C. La principal característica de las condiciones climatológicas es el alto nivel de pluviosidad que es de 3 500 milímetro anual ("Caracterizacion Municipal de Bonanza," s.f.).

Se han identificado 36 especies de árboles, entre las que se encuentran con mayor frecuencia están: cedro macho, nancitón, roble, cedro real, caoba, leche María, bimbrayán, guayabillo, nancite, guapinol zapotillo, gavilán, kiderisin, come negro, laurel, guajichote, ojoche coloreado, caoba blanca, quebracho, jocotillo, manga larga, quita calsón, guabo, ceiba, anona amarilla, zapote ("Caracterizacion Municipal de Bonanza," s.f.).

Su fauna está constituida por 16 especies de mamíferos: tigrillos, panteras, leones, monos, venados, guardatinajas, zahinos, dantos, pizotes, iguanas, entre otras especies; unas 6 especies de serpientes como barba amarilla, mata buey, boas; una gran variedad de aves como lapas, loras, lechuzas, gavilanes, gorriones; peces y moluscos ("Caracterizacion Municipal de Bonanza," s.f.).

El municipio se ubica, en orden de importancia, dentro de las cuencas del Río Coco con su afluente el Waspuk, la cuenca del Río Wawa; cuenca Río Kukalaya y la cuenca del Río Prinzapolka con sus afluentes Bambana, Uly y Shasa. De acuerdo a las características naturales del área las cuencas presentan un régimen natural de escurrimiento estable durante la corta estación seca, por la cobertura de bosque latifoliado, mayoritariamente denso ("Caracterizacion Municipal de Bonanza," s.f.).

Otros ríos importantes son el Pis Pis, principal afluente del Río Waspuk, que drena el 29% del territorio, actualmente es represado conformando una laguna artificial, la cual es un lugar de pesca deportiva y generación de energía eléctrica, parcialmente utilizado para natación y la navegación, en su recorrido se ve contaminado por sedimentación de minerales, y vertido de sustancias tóxicas y químicas; el Río Waspuk, es el más extenso, navegable y utilizado para la pesca; le ayudan sus afluentes el Pis Pis, Bil Tigni Tara y Kaska que drenan el 52% del territorio; el Río Bambana, drena el 28% del territorio que no es navegable porque está parcialmente contaminado por sedimentos, químicos y tóxicos utilizados en la minería ("Caracterizacion Municipal de Bonanza," s.f.).

Otros de menor importancia son el Kukalaya, el Uly y el Wawa que cubren el municipio en un 16,1%. Solo el Kukalaya es utilizado para la pesca deportiva, no se utiliza para la navegación y está parcialmente contaminado por efectos de la minería. Por el centro de la urbana en dirección noreste, atraviesa el Río Tunky contaminado por heces fecales,

desechos industriales, desechos domésticos, utilizado aguas abajo para consumo de agua, baño y lavado de ropas por algunas comunidades indígenas, parcialmente sirve para la navegación y la pesca ("Caracterización Municipal de Bonanza," s.f.).

4.2 Descripción del municipio de Puerto Cabezas, Región Autónoma Costa Caribe Norte (RACCN)

El municipio de Puerto Cabezas posee una extensión territorial de 5 985 Km² cuenta con 35 888 pobladores, con un total de hogares de 1 806, con 17,39% de cobertura de agua mejorada y un 13,16% de cobertura de saneamiento mejorado. El Sistema de Información de Agua y Saneamiento Rural (SIASAR) no presenta el 82,61% restante del porcentaje de la mejora de la calidad del agua ni el 86,84% de la evaluación anual mundial sobre saneamiento y agua potable ("Nicaragua," 2019).

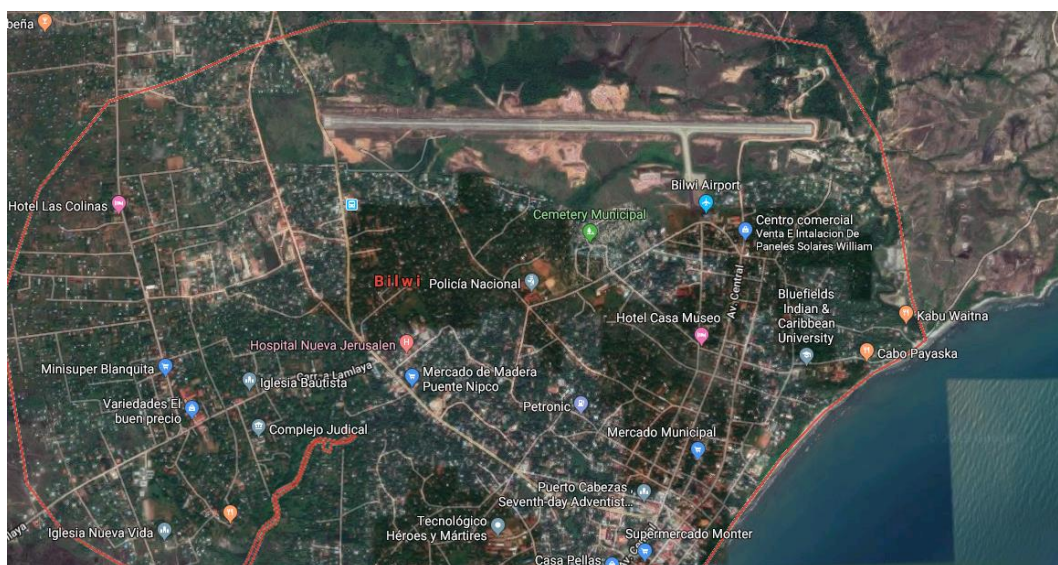


Figura 10: Vista Satelital de Puerto Cabezas, RACCN

Fuente: GOOGLE, 2018.

Según “Puerto Cabezas” (2013) la cabecera departamental de la RACCN que es Puerto Cabezas cuenta con un 51% de población infantil y adolescente y en los diferentes ámbitos como de Salud: con treinta y dos puestos de salud, un centro de salud y un hospital; Educación: con ciento cuatro escuelas públicas, quinientos noventa y siete maestros de primaria y con un nivel de alfabetismo de 73,7%; Empleo y Migración: 7,2% de personas desempleadas, 8% de desempleo joven (18-29 años), 2,8% de migración, 75,6% con acceso a letrina, 77,6% con piso, 72,3% de tenencia de vivienda, 32,5% de índice de hacinamiento, 0,55% de jefes de hogar mujeres y un índice de masculinidad de 1%.

El clima de la zona se clasifica como monzónico de selva (tipo tropical húmedo), aunque con variaciones dependiendo de la altitud. La temperatura presenta un rango de fluctuación entre los 23,98 a 29,8°C con un promedio de 26,9°C. El municipio presenta un promedio anual de 3 000 mm. de precipitación ("Caracterizacion Municipal de Puerto Cabezas," s.f.).

Su flora comprende zonas de pinos (*pinus caribbean*) sobre un tapíz vegetal cubierto de gramíneas o de juncos. Son zonas que han sido degradadas por efecto de la agricultura migratoria y la tala indiscriminada, dando como resultado la formación de bosques secundarios de escasos valor económico ("Caracterizacion Municipal de Puerto Cabezas," s.f.).

La vegetación característica es de manglares, y diferentes tipos de palmas y cocoteros, sobre todo en zonas de estuarios marinos ("Caracterizacion Municipal de Puerto Cabezas," s.f.).

En relación a la fauna del municipio, existen dos variedades: marítima y terrestre. Dentro de la fauna marina encontramos una serie de especies como lagartos, cuajipales, tiburones, macarela, curvina, róbalo, hurel, pargo, atún, camarones, langostas, tortugas Carey, tortuga verde, entre otros ("Caracterizacion Municipal de Puerto Cabezas," s.f.).

En los llanos y pinares abundan los venados, tigrillos, zahinos, guardatinajas, ardillas, serpientes barba amarilla, culebra ratonera, iguanas, cusucos, pizotes, variedad de aves, y otros ("Caracterizacion Municipal de Puerto Cabezas," s.f.).

El municipio está atravesado por numerosos ríos y lagunas como el Río Coco, Río Prinzapolka, Río Bambana, Río Wawa, Río Kukalaya, Río Ulang, Laguna Bihmona, Laguna Pahara, Laguna Waunta, Laguna Karata, Laguna Dakura, Laguna Krukira y por último la Laguna Wakauhkalaya ("Caracterizacion Municipal de Puerto Cabezas," s.f.).

En Puerto Cabezas se analizó un sistema rural de abastecimiento de agua potable en Twi Waupasa y otro en Tasba Pri.

4.2.1 Twi Waupasa

"Puerto Cabezas en Cifras" (2008) reporta que Twi Waupasa tiene 726 pobladores, 315 viviendas donde 121 no cuentan con agua potable y 3 casas están a más de 5 Km del centro de salud.

Siguiendo con lo anterior también posee un total de 125 hogares (los cuales ninguno cuenta con servicio de recolección de basura) donde de esos hogares: 54 no cuentan con servicio higiénico, 19 con servicio higiénico no exclusivo y su índice de hacinamiento es de 34,4% ("Puerto Cabezas en Cifras," 2008).



Figura 11: Vista Satelital de Twi Waupasa, Puerto Cabezas

Fuente: GOOGLE, 2018.

En la siguiente tabla se muestra el sistema de agua de Twi Waupasa:

Tabla 12: Sistemas de Agua en Twi Waupasa

Sistema	Ubicación	Hogares Atendidos	Habitantes Atendidos
MAG Twi Waupasa ONG Wateraid	Puerto Cabezas	70	350 mas un puesto de salud y dos escuelas primarias

Fuente: Nicaragua, 2018.

Acorde con lo anterior existe sus prestadores de servicios:

Tabla 13: Prestadores de Servicios en Twi Waupasa

Prestadores	Ubicación	Hogares Atendidos	Habitantes Atendidos
CAPS Twi Waupasa	Puerto Cabezas	70	350 más un puesto de salud y dos escuelas primarias

Fuente: Nicaragua, 2018.

Solo cuenta con un prestador de asistencia técnica:

Tabla 14: Prestadores de Asistencia Técnica en Twi Waupasa

Prestadores	Ubicación	Hogares Atendidos	Habitantes Atendidos
UMASH Twi Waupasa	Puerto Cabezas	70	350 más un puesto de salud y dos escuelas primarias

Fuente: Nicaragua, 2018.

4.2.2 Tasba Pri

“Puerto Cabezas en Cifras” (2008) hace mención que Tasba Pri tiene 809 pobladores, 290 viviendas donde 129 no cuentan con agua potable y 29 casas están a más de 5 Km del centro de salud.

La comunidad posee un total de 137 hogares (los cuales ninguno cuenta con servicio de recolección de basura) donde de esos hogares: 76 no cuentan con servicio higiénico, 8 con servicio higiénico no exclusivo y su índice de hacinamiento es de 43,8% ("Puerto Cabezas en Cifras," 2008).

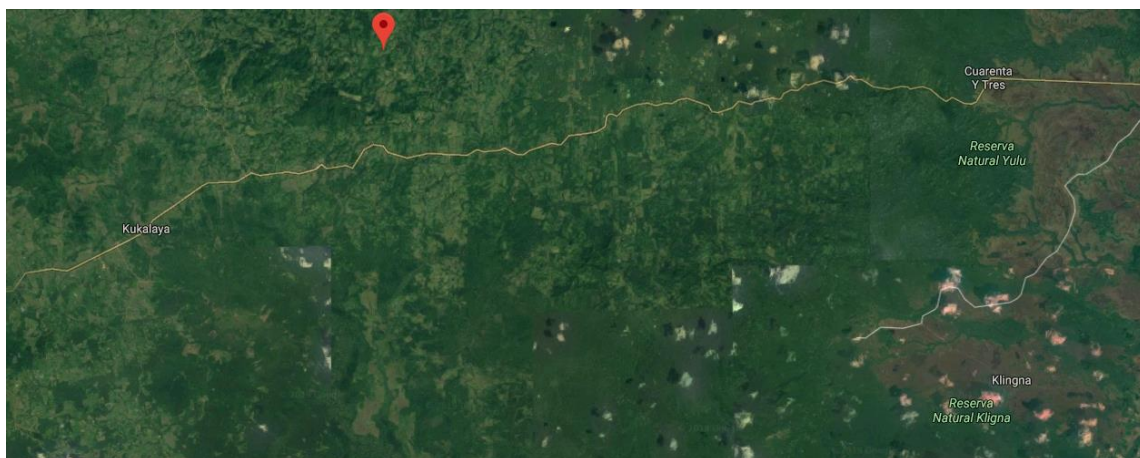


Figura 12: Vista Satelital de Tasba Pri, Puerto Cabezas

Fuente: GOOGLE, 2018.

En la siguiente tabla se muestra el sistema de agua de Tasba Pri:

Tabla 15: Sistemas de Agua en Tasba Pri

Sistema	Ubicación	Hogares Atendidos	Habitantes Atendidos
MABE Tasba Pri ONG Wateraid	Puerto Cabezas	75	375 mas una escuela y un puesto de salud

Fuente: Nicaragua, 2018.

Acorde con lo anterior existe sus prestadores de servicios:

Tabla 16: Prestadores de Servicios en Tasba Pri

Prestadores	Ubicación	Hogares Atendidos	Habitantes Atendidos
CAPS Tasba Pri	Puerto Cabezas	75	375 más una escuela y un puesto de salud

Fuente: Nicaragua, 2018.

Solo cuenta con un prestador de asistencia técnica:

Tabla 17: Prestadores de Asistencia Técnica en Tasba Pri

Prestadores	Ubicación	Hogares Atendidos	Habitantes Atendidos
UMASH Tasba Pri	Puerto Cabezas	75	375 más una escuela y un puesto de salud

Fuente: Nicaragua, 2018.

4.3 Descripción del Municipio de Waspam, RACCN

El municipio de Waspam ubicado en la Region Autónoma Costa Caribe Norte se encuentra a 632 Km de Managua con una extensión territorial de 9 767 Km², posee un total de 49 313 de habitantes, 429 hogares, 4,53% de cobertura de agua mejorada y 23,13% de cobertura de saneamiento mejorado. El Sistema de Información de Agua y Saneamiento Rural (SIASAR) no presenta el 95,47% restante del porcentaje de la mejora de la calidad del agua ni el 76,87% de la evaluación anual mundial sobre saneamiento y agua potable ("Nicaragua," 2019).



Figura 13: Vista Satelital de Waspam, RACCN

Fuente: GOOGLE, 2018.

“Waspam” (2013) expresa que el municipio de Waspam cuenta con un 57,4% de población infantil y adolescente y en los diferentes ámbitos como de Salud: con cuarenta y tres puestos de salud y un hospital; Educación: con cincuenta escuelas públicas, cuatrocientos treinta y tres maestros de primaria y con un nivel de alfabetismo de 61,3%; Empleo y Migración: 14% de personas desempleadas, 15,1% de desempleo joven (18-29 años), 0,8% de migración, 62,7% con acceso a letrina, 24,3% de índice de hacinamiento y un índice de masculinidad de 1%.

En la hidrología de Waspam está presente el Río Coco, como sus afluentes y las lagunas donde existe una gran diversidad de peces y mariscos, variedad de pájaros, lapas, loras, chocoyos, gallinas de monte, zahinos, venados, jaguares, tigrillos, serpientes y culebras, monos, lagartos, cuajipales, iguanas, guardatinajas, dantos, etc (“Waspam,” s.f.).

La principal actividad económica es la agricultura, pero solo para el autoconsumo. Pero también hay otra actividad que apoya la economía familiar: la güirisería. En el sector del río Coco arriba se localizan algunas minas auríferas (“Waspam,” s.f.).

Los güiriseros más experimentados son los de la comunidad de San Carlos que trabajan en la Coco Mine. El oro extraído es vendido a comerciantes hondureños y nicaragüenses (“Waspam,” s.f.).

Su selva es de origen volcánico y la de los llanos, cuyas tierras se han desarrollado sobre gruesos depósitos arcillosos de sedimentos no consolidados de grava (“Waspam,” s.f.).

Una buena extensión del territorio forma parte de la reserva biológica Bosawas, que constituye la mayor zona de protección del bosque húmedo del país y una de las mayores áreas boscosas protegidas de Centroamérica ("Waspam," s.f.).

En Waspam se analizó un sistema rural de abastecimiento de agua potable en la comunidad Llano.

4.3.1 Llano

"Waspam en Cifras" (2008) afirma que la comunidad Llano tiene 729 pobladores, 244 viviendas donde 112 no cuentan con agua potable y 17 casas están ubicadas a más de 5 Km del centro de salud.

La comunidad posee un total de 120 hogares (los cuales ninguno cuenta con servicio de recolección de basura) donde de esos hogares: 66 no cuentan con servicio higiénico, 6 con servicio higiénico no exclusivo y su índice de hacinamiento es de 49,2% ("Waspam en Cifras," 2008).



Figura 14: Vista Satelital del Llano, Waspam

Fuente: GOOGLE, 2018.

En la Tabla 18 se presenta el sistema de agua del Proyecto de la ONG Water Aid Llano:

Tabla 18: Sistemas de Agua en Llano

Sistema	Ubicación	Hogares Atendidos	Habitantes Atendidos
MAG Llano ONG Wateraid	Llano	146	729

Fuente: Nicaragua, 2018.

De acuerdo a lo anterior se presenta su prestador de servicio:

Tabla 19: Prestadores de Servicios en Llano

Prestadores	Ubicación	Hogares Atendidos	Habitantes Atendidos
CAPS Llano	Llano	146	729

Fuente: Nicaragua, 2018.

Solo cuenta con un prestador de asistencia técnica:

Tabla 20: Prestadores de Asistencia Técnica en Llano

Prestadores	Ubicación	Hogares Atendidos	Habitantes Atendidos
UMASH Llano	Llano	146	729

Fuente: Nicaragua, 2018.

V. METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta la metodología que se implementó para el desarrollo de este estudio monográfico desde la descripción de los cinco sistemas rurales de abastecimiento de agua potable hasta la calidad de sus aguas con el fin de identificar las debilidades y fortalezas que afectan los procesos de desinfección con cloro.

5.1 Tipo de Estudio

La presente investigación es de tipo aplicada porque está orientada a determinar si existe una distribución de agua segura en los cinco sistemas de potabilización y para ello se realizó un diagnóstico que correlacione los datos de mortalidad y morbilidad con las estrategias de desinfección.

5.2 Universo

Se definió como universo a los lugares en estudio de la Región Autónoma Costa Caribe Norte que son Bonanza, Twi Waupasa y Tasba Pri que son comunidades de Puerto Cabezas y la comunidad Llano que pertenece al municipio de Waspam.



Figura 15: Universo

5.3 Población

El agua cruda y agua potable de los sistemas de Bonanza es el Río Pis Pis y el Río Aguas Calientes. En Puerto Cabezas, el agua es de una quebrada, así como agua subterránea; en Waspam se utilizó agua subterránea.

5.4 Parámetros

Los parámetros que se utilizaron y evaluaron en la presente investigación se muestran mediante la Tabla 21 donde también se presentan los valores recomendados por la Norma Técnica Nicaragüense para el Diseño de Abastecimiento y Potabilización del agua (NTON 09 003-99) para asegurar la calidad del agua potable (La Gaceta, 2000):

Tabla 21: Parámetros Evaluados

Tipo de parámetro	Parámetros	Unidad	NTON 09 003-99	
			Valor recomendado	Valor máximo permisible
Físicos	Turbiedad	NTU	1	5
	Conductividad	µs/cm	400	
	Temperatura	°C	18 C-30°C	
	Color Verdadero	UPC	1	15
	Sólidos Totales Disueltos	mg/L		
Químicos Inorgánicos	Amonio	mg/L	0,05	0,5
	pH	Unidades	6,5-8,5	-
	Cloro Total	mg/L	-	-
	Cloro Residual	mg/L	0,5-1	5
	Nitrato	mg/L	25	45
	Hierro	mg/L		0,3
	Arsénico	mg/L		0,01
	Manganeso	mg/L		0,5
Químicos Orgánicos	Carbono Orgánico Total	mg/L		
	Trihalometanos	µg/L		200
Microbiológicos	Coliformes Totales	UFC	Negativo	Negativo
	Coliformes Termorresistentes	UFC	Negativo	Negativo

Fuente: La Gaceta, 2000.

A continuación se enlistan los métodos analíticos de cada parámetro evaluado (Hach Company, 1997, 2000, 2005):

Tabla 22: Métodos para la Determinación de los Parámetros

Parámetros	Métodos
Físicos	
Turbiedad	Turbidímetro 2010P HACH
Conductividad	Conductivímetro 2010P HACH
Temperatura	Termómetro
Color Verdadero	Método Estándar Platino-Cobalto HACH 8025
Sólidos Totales Disueltos (STD)	Conductivímetro 2010P HACH
Químicos Inorgánicos	
Amonio	Método Nessler HACH 8038
pH	pH-metro HACH.
Cloro Total	Método DPD HACH 10070
Cloro Residual	Método DPD HACH 10069
Nitrato	Método de Reducción de Cadmio HACH 8171
Hierro	Método FerroVer HACH 8008
Arsénico	Método de Dietilditiocarbamato de Plata HACH 8013
Manganeso	Método PAN 1-(2-Pyridylazo)-2-Naftol HACH 8149
Químicos Orgánicos	
Carbono Orgánico Total	Método Directo HACH 10129
Trihalometanos	Método THM Plus (Cloroformo) HACH 10132
Microbiológicos	
Coliformes Totales	Método de Filtrado de Membrana HACH 8074
Coliformes Termorresistentes	Método de Filtrado de Membrana HACH 8074

Fuente: Hach Company, 1997, 2000, 2005.

En la preservación de las muestras se utilizaron termos con hielo a una temperatura de 4°C aproximadamente, bajo estas condiciones las muestras pueden conservarse durante períodos de hasta 28 días. Otras fueron acidificadas de acuerdo a lo recomendado en los protocolos de análisis de HACH de diferentes volúmenes (Hach Company, 2000) (Hach Company, 2005) (Hach Company, 1997).

Para las tomas de muestras se utilizaron envases de polipropileno y de vidrio de 1 litro previamente esterilizados y rotulados. Antes de tomar la muestra se endulzó el recipiente.

Tabla 23: Preservación de las Muestras

Análisis	Tipo de Envase	Preservación (4 °C)	Tiempo máximo de almacenamiento recomendado	Conservación en función del pH
Parámetros Físicos				
Turbiedad	Plástico, Vidrio	Analizar el mismo día o almacenar en lo oscuro hasta 48h; refrigerar	24h / 48h	
Conductividad	Plástico, Vidrio	Refrigerar	14 días	
Temperatura	Plástico, Vidrio	Analizar en el punto de captación	14 días	
Color Verdadero	Plástico, Vidrio	Refrigerar	48h	
Sólidos Totales Disueltos	Plástico, Vidrio	Refrigerar	24 horas	
Parámetros Químicos Inorgánicos				
Amonio	Plástico, Vidrio	Refrigerar	28 días	Acidificar con H ₂ SO ₄ pH<2
pH	Plástico, Vidrio	Refrigerar	14 días	
Cloro Total	Vidrio	Analizar en el punto de captación		
Cloro Residual	Vidrio	Analizar en el punto de captación		
Nitrato	Plástico, Vidrio	Refrigerar	24 h 14 días	2mL de Ácido Sulfúrico por litro de muestra y refrigerar
Hierro Total	Vidrio	Almacenarse a temperatura ambiente	28 días	
Arsénico	Plástico, Vidrio	Refrigerar	6 meses	Ajustar pH ≤2 con Ácido Sulfúrico (2mL/L muestra)

Análisis	Tipo de Envase	Preservación (4 °C)	Tiempo máximo de almacenamiento recomendado	Conservación en función del pH
Manganeso	Plástico	Almacenarse a temperatura ambiente	6 meses	Ajustar pH ≤ 2 con Ácido Nítrico (2mL/L muestra)
Parámetros Químicos Orgánicos				
Carbono Orgánico Total	Vidrio	Analizar lo más pronto posible		
Trihalometanos	Vidrio	Refrigerar	14 días	
Parámetros Microbiológico				
Coliformes Totales	Plástico, Vidrio	Refrigerar	8 horas (agua no potable) 30 horas (agua potable)	
Coliformes Termorresistentes	Plástico, Vidrio	Refrigerar	8 horas (agua no potable) 30 horas (agua potable)	

Fuente: Hach Company, 1997; Hach Company, 2000; Hach Company, 2005.

El método de muestreo es de tipo no probabilístico dirigido, debido a que la selección de la población (fuente de agua superficial, quebrada y Subterránea en estudio) es puntual.

Se localizan varios puntos de muestreo a lo largo del proceso de potabilización de agua.

Estas se describen en la Tabla 24:

Tabla 24: Puntos de Muestreos

Nombre de la Comunidad	Puntos de Muestreos
Bonanza (Primer Sistema)	Zona de Captación Entrada del Sistema Salida del Sistema
Bonanza (Segundo Sistema)	Zona de Captación Entrada del Sistema Salida del Sistema
Twí Waupasa, Puerto Cabeza	Tanque

Nombre de la Comunidad	Puntos de Muestreos
	Casa Escuela
Tasba Pri, Puerto Cabezas	Casa
Llano, Waspam	Tanque Salida del Tanque Puesto

5.5 Evaluación de los Procesos de Desinfección

Para la evaluación del estado del proceso de desinfección en los sistemas de abastecimiento se realizaron las visitas in situ, entrevistas y encuestas a UMASH, CAPS, Proveedores de Cloro, Pobladores y Prestadores de Servicios. También se midió el cloro residual, el cloro total, las coliformes totales y termotolerantes para conocer si la desinfección estaba siendo llevada a cabo de manera correcta. Por análisis observacional y las visitas in situ se pudo conocer los tipos de clorinadores empleados, tipo de cloro, forma de preparación y los proveedores de cloro más cercanos; esto en los sistemas de abastecimiento donde se estaba clorando.

Los datos de morbilidad y mortalidad fueron proporcionados por la Dirección de Salud Ambiental del MINSA y del Boletín Informativo: el Agua (2015).

5.6 Cadenas de Cloro

Debido a que, en los sistemas evaluados se encontró que no existen cadenas de cloro lo que pone en riesgo la calidad de vida de los consumidores de los sistemas evaluados, se propone algunas alternativas para que existan nuevas cadenas de cloro que aseguren un proceso de desinfección continuo y efectivo. Para el diseño de estas nuevas cadenas de cloro se tomó en consideración la opinión de las alcaldías, las Unidades Municipales de Agua y Saneamiento e Higiene (UMASH), Organizaciones No Gubernamentales (ONG), pobladores, prestadores de servicios, es decir, los Comités de Agua Potable y Saneamiento (CAPS) y los proveedores de cloro.

5.7 Manual de Operación

Debido a que se observó que se le hace muy difícil hacer una correcta desinfección a los operadores de los sistemas de abastecimiento se propone un manual de operación y mantenimiento para la cloración.

VI. RESULTADOS

A continuación, se presenta la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua cruda y procesada de los cinco sistemas rurales de abastecimiento de agua de Bonanza, Puerto Cabezas y Waspam. El diagnóstico de los hallazgos encontrados en los sistemas tomando en cuenta la situación socioeconómica de cada comunidad y los resultados de las encuestas, entrevistas, visita in situ, análisis observacional y la evaluación de los parámetros del tipo de cloro, costo del cloro, dispositivo de cloración, medición del cloro total, monitoreo del cloro residual, aceptación social, sostenibilidad y la promoción de cambios de hábitos los cuales se tomaron en consideración para la realización del manual de operación y mantenimiento.

6.1 Diagnóstico de la Calidad Fisicoquímica y Microbiológica

Se realizó un diagnóstico para saber si existe una distribución de agua segura en los cinco sistemas de abastecimiento correlacionando los datos de mortalidad y morbilidad con las estrategias de desinfección.

6.1.1 Sistema Wangki, Bonanza

La empresa de agua de Bonanza fue abolida en el año 2017 y es la alcaldía a través del departamento de servicios generales quien administra y opera el abastecimiento de agua en Bonanza.

El primer sistema, Wangki consiste de un sistema de coagulación, cuatro filtros de antracita y seis filtros de arena, el agua la captan en el Río Pis Pis, la cloración la realizan con $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ que lo compran trimestralmente a Válvulas y Filtraciones. Este sistema abastece a 15 barrios de 2 a 3 horas cada día de por medio.

En las figuras siguientes se muestra la zona de captación y el sistema de tratamiento del primer sistema de Bonanza.

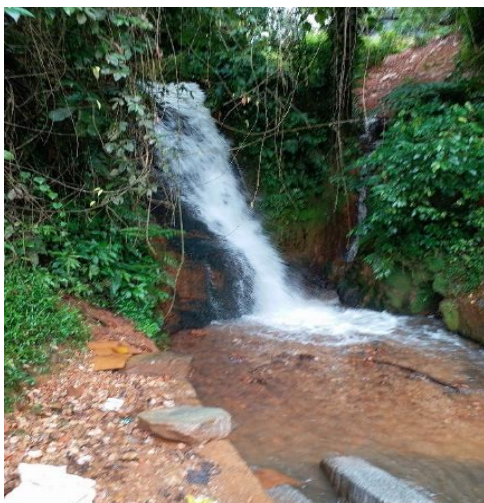


Figura 16: Zona de Captación, Río Pis Pis



Figura 17: Escorrentía del Río Pis Pis



Figura 18: Agua en la Entrada del Sistema



Figura 19: Inyección del Coagulante en el Sistema 1



Figura 9: Filtros de Arena en el Sistema 1



Figura 10: Filtros de Antracita en el Sistema 1



Figura 22: Tanque de Almacenamiento del Primer Sistema



Figura 23: Rebombero al Tanque de Almacenamiento 2 en el Sistema 1



Figura 24: Fugas en el Tanque de Almacenamiento



Figura 25: Rebose del Tanque de Almacenamiento 1

En la Tabla 25, se presentan los resultados de las pruebas físicas, químicas y microbiológicas del Sistema de Abastecimiento Wangki en sus tres puntos de muestreos (Captación, Entrada del Sistema y Salida del Sistema) donde se compara con las Normativas Nacionales, Centroamérica y el Caribe e Internacionales estando con el color rojo los valores de los parámetros que están fuera de los valores normales.

Tabla 25: Resultados de las Pruebas del Sistema de Abastecimiento Wangki, Bonanza

Parámetros	Captación	Entrada al Sistema	Normativas Nacionales		Salida del Sistema	Normativa para Centroamérica y el Caribe	Normativas Internacionales	
			NTON 05 007-98 (Categoría 1 A)	NTON 05 007-98 (Categoría 1 B)		CAPRE	Guías OMS	Normas EPA
Físicos								
Turbiedad (NTU)	29,0	7,0	<5	<250	6,0	1	1	< 1
Conductividad (µS/cm)	60,8	77,3			78,4	400		
Temperatura (°C)	25,6	25,6			26,1	18°C-30°C		
Color Verdadero (mg/L Pt-Co)	40,0	23,3	< 15	< 150	26,7	1		15
Solidos Totales Disueltos (mg/L)	30,0	38,0	1 000	1 500	38,0	1 000		
Químicos Inorgánicos								
Amonio (mg/L)	< 0,02	< 0,02			< 0,02	0,05	1,5	
pH	7,65	7,50	Mínimo. 6,0 y Máximo. 8,5	Mínimo. 6,0 y Máximo. 8,5	7,70	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Cloro Total (mg/L)	n.d.	n.d.			n.d.			
Cloro Residual (mg/L)	n.d.	n.d.			n.d.	0,5 - 1,0	0,5	1,0
Nitrato (mg/L)	61,31	37,47			34,06	25	50	10
Hierro (mg/L)	0,196	0,783	0,3	3	0,245	0,3	0,3	0,3

Parámetros	Captación	Entrada al Sistema	Normativas Nacionales		Salida del Sistema	Normativa para Centroamérica y el Caribe	Normativas Internacionales	
			NTON 05 007-98 (Categoría 1 A)	NTON 05 007-98 (Categoría 1 B)		CAPRE	Guías OMS	Normas EPA
Arsénico (mg/L)	n.d	n.d			n.d	0,01	0,01	0,0
Manganeso (mg/L)	< 0,10	< 0,10	0,5	0,5	< 0,10	0,02	0,1	0,05
Químicos Orgánicos								
Carbono Orgánico Total (mg/L C)	< 0,3	< 0,3			< 0,3			≤ 2
Trihalometanos (µg/L)	n.d	n.d			n.d	460	300	
Microbiológicos								
Coliformes Totales (UFC/100 mL)	< 2,0	920	< 2 000	< 10 000	540	Negativo	Negativo	Negativo
Coliforme Termorresistentes (UFC/100 mL)	< 3,0	12,0			9,0	Negativo	Negativo	Negativo

6.1.2 Sistema Santa Rita, Bonanza

Existe un segundo sistema que utilizan agua del Río Aguas Calientes de donde bombean el agua a un tanque de almacenamiento y por gravedad distribuyen el agua a 9 barrios con una continuidad de 3 a 4 horas cada dos días. No existe micromedición. En este sistema hay un vertedero para adicionar coagulantes y generar turbulencia, además de floculación, sedimentación y filtración con arena; actualmente como se observa en las fotos no se encuentra funcionando, no hay desinfección.



Figura 26: Captación Sistema 2



Figura 27: Bomba de 100 HP Sistema 2



Figura 28: Tuberías de la Salida del Sistema



Figura 29: Caseta del CPF



Figura 11: Tubería de Entrada al Sistema



Figura 12: Zona de Entrada



Figura 32: Filtros de Arena



Figura 33: Vista de la parte interna del Tanque de Almacenamiento



Figura 34: Sistema 2

Los resultados de las pruebas físicas, químicas y microbiológicas del Sistema de Abastecimiento Santa Rita en sus tres puntos de muestreos (Captación, Entrada del Sistema y Salida del Sistema), se muestra en la Tabla 26, donde se compara con las Normativas Nacionales, Centroamérica y el Caribe e Internacionales estando con el color rojo los valores de los parámetros que están fuera de los valores guías:

Tabla 26: Resultados de las Pruebas del Sistema de Abastecimiento Santa Rita, Bonanza

Normativas Nacionales						Normativa para Centroamérica y el Caribe	Normativas Internacionales	
Parámetros	Captación	Entrada al Sistema	NTON 05 007-98 (Categoría 1 A)	NTON 05 007-98 (Categoría 1 B)	Salida del Sistema	CAPRE	Guías OMS	Normas EPA
Físicos								
Turbiedad (NTU)	23,0	16,5	<5	<250	4,0	1	1	<1
Conductividad (µS/cm)	58,7	58,7			76,7	400		
Temperatura (°C)	25,1	25,1			25,8	18°C-30°C		
Color Verdadero (mg/L Pt-Co)	36,7	10,0	< 15	< 150	16,7	1		15
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	29,0	29,0	1 000	1 500	38,0	1 000		
Químicos Inorgánicos								
Amonio (mg/L)	< 0,02	< 0,02			< 0,02	0,05	1,5	
pH	7,63	7,50	Mínimo. 6,0 y Máximo. 8,5	Mínimo. 6,0 y Máximo 8,5	7,42	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Cloro Total (mg/L)	n. d	n. d			n. d			
Cloro Residual (mg/L)	n. d	n. d			n. d	0,5 - 1,0	0,5	1,0
Nitrato (mg/L)	27,25	28,61			40,87	25	50	10
Hierro (mg/L)	0,147	0,162	0,3	3	0,127	0,3	0,3	0,3
Arsénico (mg/L)	n. d	n. d			n. d	0,01	0,01	0,0
Manganeso (mg/L)	< 0,10	< 0,10	0,5	0,5	< 0,10	0,02	0,1	0,05
Químicos Orgánicos								
Carbono Orgánico Total (mg/L C)	< 0,3	< 0,3			< 0,3			≤ 2
Trihalometanos (µg/L)	n. d	n. d			n. d	460	300	
Microbiológicos								
Coliformes Totales (UFC/100 mL)	540	17,0	< 2 000	< 10 000	< 2,0	Negativo	Negativo	Negativo
Coliforme Termorresistentes (UFC/100 mL)	12,0	9,0			< 2,0	Negativo	Negativo	Negativo

6.1.3 Twi Waupasa, Puerto Cabezas (ONG Water Aid)

Esta comunidad se encuentra ubicada en Puerto Cabezas, antes de pasar el Río Wawa, el sistema de agua potable fue financiado por Wateraid y consiste de un Miniacueducto por Gravedad (MAG) que abastece a 70 conexiones domiciliarias, un puesto de salud y dos escuelas de primaria. La fuente de abastecimiento es una quebrada de donde se envía agua a un tanque de 24 000 litros y en éste se realiza la desinfección con pastillas de cloro empleando un CTI-8. Existe micromedición. Los pobladores pagan una cuota

por el servicio de agua de cincuenta córdobas por diez metros cúbicos de agua mensuales y si se pasan de ese volumen ellos pagan cinco córdobas por cada metro cúbico extra.



Figura 35: Escuela de Twi Waupasa



Figura 36: Zona de Toma de Muestra en la Cocina de la Escuela de Twi Waupasa



Figura 37: Sistema de Twi Waupasa



Figura 38: CTI-8

En la Tabla 27, se presentan los resultados de las pruebas físicas, químicas y microbiológicas del Sistema de Abastecimiento Twi Waupasa en sus tres puntos de muestreos (Tanque, Casa y Escuela) donde se compara con las Normativas Nacionales, Centroamérica y el Caribe e Internacionales estando con el color rojo los valores de los parámetros que están fuera de los valores normados.

Tabla 27: Resultados de las Pruebas del Sistema de Abastecimiento Twi Waupasa, Puerto Cabezas

Parámetros	Tanque	Normativas Nacionales		Casa	Escuela	Normativa para Centroamérica y el Caribe	Normativas Internacionales	
		NTON 05 007-98 (Categoría 1 A)	NTON 05 007-98 (Categoría 1 B)			CAPRE	Guías OMS	Normas EPA
Físicos								
Turbiedad (NTU)	13,0	<5	<250	13,0	14,0	1	1	< 1
Conductividad (µS/cm)	34,9			34,5	34,7	400		
Temperatura (°C)	26,6			27,5	27,5	18°C-30°C		
Color Verdadero (mg/L Pt-Co)	50,0	< 15	< 150	30,21	16,67	1		15
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	17,0	1 000	1 500	17,0	17,0	1 000		
Químicos Inorgánicos								
Amonio (mg/L)	0,02			< 0,02	< 0,02	0,05	1,5	
pH	5,89	Mínimo. 6,0 y Máximo. 8,5	Mínimo. 6,0 y Máximo 8,5	5,91	5,74	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Cloro Total (mg/L)	0,1			0,1	n.d			
Cloro Residual (mg/L)	0,06			0,01	n.d	0,5 - 1,0	0,5	1,0
Nitrato (mg/L)	51,09			35,08	34,06	25	50	10
Hierro (mg/L)	< 0,01	0,3	3	< 0,01	< 0,01	0,3	0,3	0,3
Arsénico (mg/L)	n.d			n.d	n.d	0,01	0,01	0,0

Parámetros	Tanque	Normativas Nacionales				Normativa para Centroamérica y el Caribe	Normativas Internacionales	
		NTON 05 007-98 (Categoría 1 A)	NTON 05 007-98 (Categoría 1 B)	Casa	Escuela	CAPRE	Guías OMS	Normas EPA
Manganeso (mg/L)	< 0,10	0,5	0,5	< 0,10	< 0,10	0,02	0,1	0,05
Químicos Orgánicos								
Carbono Orgánico Total (mg/L C)	2,22			2,15	3,15			≤ 2
Trihalometanos (µg/L)	< 10,0			< 10,0	n.d	460	300	
Microbiológicos								
Coliformes Totales (UFC/100 mL)	17,0	< 2 000	< 10 000	< 2,0	< 2,0	Negativo	Negativo	Negativo
Coliforme Termorresistentes (UFC/100 mL)	2,0			< 2,0	< 2,0	Negativo	Negativo	Negativo

6.1.4 Tasba Pri, Puerto Cabezas (ONG Water Aid)

El sistema que abastece a esta comunidad es un Miniacueducto por Gravedad (MAG) que suministra de agua a 75 viviendas, una escuela, un puesto de salud. De la captación se envía el agua a un tanque de 24 000 litros donde se tiene un CTI-8. Actualmente no hay cloración, pero existe micromedición. Los pobladores pagan una cuota por el servicio de agua de cincuenta córdobas por diez metros cúbicos de agua mensuales y si se pasan de ese volumen ellos pagan cinco córdobas por cada metro cúbico extra.



Figura 39: Casa donde se Tomó la Muestra en Tasba Pri

En la Tabla 28, se presentan los resultados de las pruebas físicas, químicas y microbiológicas del Sistema de Abastecimiento Tasba Pri en su punto de muestreo (Casa) donde se compara con las Normativas Nacionales, Centroamérica y el Caribe e Internacionales estando con el color rojo los valores de los parámetros que están fuera de los valores guías.

Tabla 28: Resultados de las Pruebas del Sistema de Abastecimiento Tasba Pri, Puerto Cabezas

		Normativa para Centroamérica y el Caribe	Normativas Internacionales	
Parámetros	Casa	CAPRE	Guías OMS	Normas EPA
Físicos				
Turbiedad (NTU)	8,0	1	1	< 1
Conductividad (µS/cm)	58,0	400		
Temperatura (°C)	27,5	18°C-30°C		
Color Verdadero (mg/L Pt-Co)	6,67	1		15
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	28,0	1 000		
Químicos inorgánicos				
Amonio (mg/L)	< 0,02	0,05	1,5	
pH	6,66	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Cloro Total (mg/L)	n.d			
Cloro Residual (mg/L)	n.d	0,5 - 1,0	0,5	1,0
Nitrato (mg/L)	23,84	25	50	10
Hierro (mg/L)	0,52	0,3	0,3	0,3
Arsénico (mg/L)	n.d	0,01	0,01	0,0
Manganeso (mg/L)	< 0,10	0,02	0,1	0,05
Químicos Orgánicos				
Carbono Orgánico Total (mg/L C)	2,1			≤ 2
Trihalometanos (µg/L)	n.d	460	300	

		Normativa para Centroamérica y el Caribe	Normativas Internacionales	
Parámetros	Casa	CAPRE	Guías OMS	Normas EPA
Microbiológicos				
Coliformes Totales (UFC/100 mL)	< 2,0	Negativo	Negativo	Negativo
Coliforme Termorresistentes (UFC/100 mL)	< 2,0	Negativo	Negativo	Negativo

6.1.5 Llano, Waspam (ONG Water Aid)

Llano es una comunidad formada por 130 familias, de los cuales 353 son varones y 376 mujeres para un total de 729 habitantes. Previamente el 73,2% de los habitantes se abastecían por ríos, quebradas o arroyos, el 17,0% por pozo privado y el 9,8% recibía agua proveniente de un vecino. La Organización no Gubernamental (ONG) Water Aid instaló un Miniacueducto por Gravedad (MAG) para abastecer a esta comunidad. No hay cloración ni micromedición.



Figura 13: Vista del Interior del Tanque de Almacenamiento



Figura 14: Tanque de Almacenamiento



Figura 42: Aliviadero



Figura 43: Tubería en Llano

En la Tabla 29, se presentan los resultados de las pruebas físicas, químicas y microbiológicas del Sistema de Abastecimiento Llano en sus tres puntos de muestreo (Tanque, Salida del Tanque y Puesto) donde se compara con las Normativas Nacionales, Centroamérica y el Caribe e Internacionales estando con el color rojo los valores de los parámetros que están fuera de los valores normados.

Tabla 29: Resultados de las Pruebas del Sistema de Abastecimiento Llano, Waspam

Normativas Nacionales					Normativa para Centroamérica y el Caribe	Normativas Internacionales		
Parámetros	Tanque	Salida del Tanque	NTON 05 007-98 (Categoría 1 A)	NTON 05 007-98 (Categoría 1 B)	Aliviadero	CAPRE	Guías OMS	Normas EPA
Físicos								
Turbiedad (NTU)	18,0	14,0	<5	<250	11,0	1	1	< 1
Conductividad (µS/cm)	22,13	35,6				400		
Temperatura (°C)	25,4	25,1			26,1	18°C-30°C		
Color Verdadero (mg/L Pt-Co)	33,3	20,0	< 15	< 150	23,3	1		15
Solidos Totales Disueltos (mg/L)	11,0	18,0	1 000	1 500	18,0	1 000		
Químicos Inorgánicos								
Amonio (mg/L)	0,05	0,03			0,01	0,05	1,5	
pH	6,18	5,55	Mínimo. 6,0 y Máximo. 8,5	Mínimo. 6,0 y Máximo. 8,5	6,67	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Cloro Total (mg/L)	n.d	n.d			n.d			
Cloro Residual (mg/L)	n.d	n.d			n.d	0,5 - 1,0	0,5	1,0
Nitrato (mg/L)	71,53	54,5			40,87	25	50	10
Hierro (mg/L)	0,05	0,07	0,3	3	0,06	0,3	0,3	0,3
Arsénico (mg/L)	n.d	n.d			n.d	0,01	0,01	0,0
Manganeso (mg/L)	< 0,10	< 0,10	0,5	0,5	< 0,10	0,02	0,1	0,05
Químicos Orgánicos								
Carbono Orgánico Total (mg/L C)	1,56	1,29			0,79			≤ 2
Trihalometanos (µg/L)	n.d	n.d			n.d	460	300	
Microbiológicos								
Coliformes Totales (UFC/100 mL)	17,0	< 2,0	< 2 000	< 10 000	< 2,0	Negativo	Negativo	Negativo
Coliforme Termorresistentes (UFC/100 mL)	3,0	< 2,0			< 2,0	Negativo	Negativo	Negativo

6.2 Elaboración de Nuevas de Cadenas de Cloro

Se propusieron nuevas cadenas de cloro después de haber evaluado las entrevistas que se les hicieron a los técnicos de los UMASH, a los Prestadores de Servicios (CAPS), Organizaciones No Gubernamentales (ONG), así como el análisis observacional y la visita in situ de los cinco sistemas evaluados ya que se encontró de que actualmente no hay ningún proceso de desinfección debido a diferentes factores: La insostenibilidad de los sistemas, la falta de conocimientos técnicos de la importancia del proceso de desinfección y lo más grave es que no hay proveedores de cloro cerca de estos cinco sistemas, por lo tanto, se elaboraron las nuevas cadenas de cloro en base a los hallazgos encontrados.

6.3 Elaboración del Manual de Operación

Después de haber visitado los sistemas, haber hecho un análisis observacional y las entrevistas que se tuvieron con los operadores de estos sistemas evaluados se encontró que, ellos tienen dificultades en poder preparar las soluciones de cloro, no saben cómo pesar las cantidades de cloro, no dispones de equipamiento para la preparación de cloro, no tienen el mínimo conocimiento acerca de higiene y seguridad ocupacional de emplear cloro porque ellos lo sacan con las manos, muchos veces tienen las pieles llagadas, respiran el cloro sin usar ningún sistema de protección. La elaboración del manual paso a paso es para que ellos puedan de una manera sencilla preparen las soluciones, , hacer un monitoreo de cómo está el cloro y respetando también su integridad física al hacer uso de equipo de seguridad.

VII. DISCUSION DE RESULTADOS

En este acápite se presenta el diagnóstico del agua cruda y producida basado en su calidad fisicoquímica y microbiológica del agua correlacionando los datos de morbilidad y mortalidad por el Síndrome Diarreico Agudo (E.D.A.) por cada 10 000 habitantes de los años 2016 y 2017, cuatro propuestas de nuevas cadenas de cloro y el diseño de un manual de operación para el área de desinfección en el ámbito rural.

7.1 Diagnóstico de la Calidad Fisicoquímica y Microbiológica

De acuerdo a los resultados de los parámetros evaluados en los cinco sistemas de abastecimiento no cumplen con las 7C de los Objetivos de Desarrollo Sostenible número seis (ODS 6) de cara a 2030 ya que los ODS persiguen el acceso universal al agua potable, el saneamiento y la higiene, e instan a mejorar la supervisión para garantizar que nadie se quede atrás.

7.1.1 Diagnóstico de la Calidad Fisicoquímica y Microbiológica del Agua Cruda

En la Tabla 30, se presentan los datos recogidos del agua cruda que abastece cada uno de los sistemas rurales de abastecimiento de agua.

Tabla 30: Diagnóstico de la Calidad del Agua Cruda de los Cincos Sistemas de Abastecimiento

Parámetros	Sistema Wangki (Captación)	Sistema Santa Rita (Captación)	Sistema Twi Waupasa (Tanque)	Sistema Tasba Pri (Casa)	Sistema Llano (Salida del Tanque)	NTON 05 007-98	
						(Categoría 1 A)	(Categoría 1 B)
Físicos							
Turbiedad (UNT)	29	23,0	13,0	8,0	14,0	< 5	< 250
Conductividad (µs/cm)	60,8	58,7	34,9	58,0	35,6		
Temperatura (°C)	25,6	25,1	26,6	27,5	25,1		
Color Verdadero (UPC)	40,0	36,7	50,0	6,67	20,0	< 15	<150

Parámetros	Sistema Wangki (Captación)	Sistema Santa Rita (Captación)	Sistema Twi Waupasa (Tanque)	Sistema Tasba Pri (Casa)	Sistema Llano (Salida del Tanque)	NTON 05 007-98	
						(Categoría 1 A)	(Categoría 1 B)
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	30,0	29,0	17,0	28,0	18,0	1 000	1 500
Químicos Inorgánicos							
Amonio (mg/L)	< 0,02	< 2,0	0,02	< 0,02	0,03		
pH	7,65	7,63	5,89	6,66	5,55	6-8,5	6-8,5
Cloro Total (mg/L)	n.d	n.d	0,1	n.d	n.d		
Cloro Residual (mg/L)	n.d	n.d	0,06	n.d	n.d		
Nitrato (mg/L)	61,31	27,25	51,09	23,84	54,5	10	10
Hierro (mg/L)	0,196	0,147	< 0,01	0,52	0,07	0,3	3
Arsénico (mg/L)	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d		
Manganeso (mg/L)	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	0,5	0,5
Químicos Orgánicos							
Carbono Orgánico Total	< 0,3	< 3,0	2,22	2,1	1,29		
Trihalometanos: Cloroformo	n.d	n.d	< 10,0	n.d	n.d		
Microbiológicos							
Coliformes Totales (UFC/100mL)	< 2,0	540	17,0	< 2,0	< 2,0	< 2 000	< 10 000
Coliforme Termorresistentes (UFC/100mL)	< 2,0	12,0	2,0	< 2,0	< 2,0		

En la Tabla anterior se hace mención que las fuentes de los sistemas evaluados necesitan ser acondicionadas con un tratamiento convencional, intercambiador iónico y cloración.

7.1.2 Diagnóstico de la Calidad Fisicoquímica y Microbiológica del Agua Producida

En la Tabla 31, se presentan los parámetros que están fuera de los valores normados, esto se debe a que el sistema de abastecimiento de agua no está funcionando bien debido a la falta de pago, costos, mantenimiento, la falta de monitoreo de cloro total, cloro residual, demanda de cloro, conocimientos técnicos de operación, manejo seguro

del cloro, el acceso difícil a los proveedores de cloro y la falta de desinfección. Lo cual es crítico porque la población abastecida está consumiendo agua no segura.

Tabla 31: Diagnóstico de la Calidad del Agua Procesada de los Cincos Sistemas de Abastecimiento

Parámetros	Wangki	Santa Rita	Twi Waupasa		Tasba Pri	Llano	CAPRE
	Salida del Sistema	Salida del Sistema	Casa	Escuela	Casa	Puesto	
Físicos							
Turbiedad (NTU)	6	4	13,0	14,0	8	11	1
Conductividad (µs/cm)	78,4	76,7	34,5	34,7	58,0		400
Temperatura (°C)	26,1	25,8	27,5	27,5	27,5	26,1	18°C-30°C
Color Verdadero (mg/L Pt-Co)	26,7	16,7	30,21	16,67	6,67	23,3	1
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	38,0	38,0	17,0	17,0	28,0	18,0	1 000
Químicos Inorgánicos							
Amonio (mg/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,01	0,05
pH	7,70	7,42	5,91	5,74	6,66	6,67	6,5-8,5
Cloro Total (mg/L)	n. d	n. d	0,1	n.d	n.d	n.d	-
Cloro Residual (mg/L)	n. d	n. d	0,01	n.d	n.d	n. d	0,5-1,0
Nitrato (mg/L)	34,06	40,87	35,08	34,06	23,84	40,87	25
Hierro (mg/L)	0,245	0,127	< 0,01	< 0,01	0,52	0,06	0,3
Arsénico (mg/L)	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,01
Manganeso (mg/L)	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	0,1
Químicos Orgánicos							
Carbono Orgánico Total (mg/L C)	< 0,3	< 0,3	2,15	3,15	2,1	0,79	-
Trihalometanos: Cloroformo(mg/L)	n.d	n.d	< 10,0	n.d	n.d	n.d	460
Microbiológicos							
Coliformes Totales (UFC/100mL)	540	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	Negativo
Coliformes Termorresistentes (UFC/100mL)	9	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	Negativo

En la Tabla 32 se presenta las eficiencias y deficiencias del nivel de servicio de cada uno de los cinco sistemas de abastecimiento de agua basados en la calidad, cantidad, cobertura, continuidad, costo y accesibilidad.

Tabla 32: Nivel de Servicio de los Cinco Sistemas de Abastecimiento

Prestadores de Servicio	Calidad	Cantidad	Cobertura	Continuidad	Costo	Accesibilidad
Bonanza (2)	X	X	X	X	X	√
Twi Waupasa ONG Wateraid	X	X	√	√	X	√
Tasba Pri ONG Wateraid	XX	X	√	√	X	√
Llano ONG Wateraid	XX	X	√	X	X	√

√= Esta Bien; X= Regular; XX= Malo.

En los cinco sistemas de abastecimiento de agua todos tienen acceso al servicio de agua sin importar su género, raza, ideología política, edad, creencia religiosa, nacionalidad, etc.

Uno de los más grandes problemas que enfrentan los prestadores de servicio de estos sistemas, es que la mayoría de los pobladores no pagan por el servicio de agua, por lo cual, los sistemas no son autosostenibles como se refleja en la tabla anterior, a pesar de que el costo del agua es alrededor de C\$5 córdobas por metro cubico de agua.

La calidad del agua producida es muy deficiente ya que, en todos los sistemas, se está produciendo agua con una calidad que exceden los parámetros recomendados por CAPRE.

A pesar, de que se ofrece el servicio de agua, la cantidad que reciben es menor a los 60 litros con que fueron diseñados, tampoco el agua se abastece de manera continua porque existen programas de racionamiento, abasteciéndose cada dos o tres días por algunas horas.

Se presentan las consecuencias de cada parámetro que se encuentra incumpliendo las Normativas Nacionales, Centroamérica y el Caribe e Internacionales.

Turbiedad

Como se observa en la Tabla 30, todos los sistemas presentan turbiedades arriba de 1 NTU que es el valor normado por CAPRE, excediéndolo, lo que implicaría no un riesgo a la salud, pero, afecta la calidad estética, se tiene como ejemplo que el valor más bajo de turbiedad se encontró para el sistema de Santa Rita (4 NTU) en cambio el valor más alto se analizó en la escuela de Twi Waupasa (14 NTU).

La turbiedad afecta el proceso de eliminación de los organismos patógenos, por la acción de agentes químicos como el cloro, porque las partículas causantes de la turbiedad reducen la eficiencia del proceso y protegen físicamente a los microorganismos del contacto directo con el desinfectante. Para una desinfección eficiente, el agua antes de ser desinfectada debe presentar una turbiedad promedio menor o igual a 1 UNT (Agua, 1998).

Color Verdadero

El color es un indicador indirecto de la posible formación de Trihalometanos, por la presencia de materia orgánica natural que reacciona con el cloro pero, como en los sistemas no están clorando no hay formación de Trihalometanos, pero una vez que los sistemas usen cloro para la desinfección el color tiene que ser menor a 1 en todos los sistemas para reducir la formación de Subproductos de la Desinfección (SPD). Se puede observar que todos los sistemas tienen colores que exceden hasta seis veces el valor normado de 1 mg/L Pt-Co siendo el más bajo en Tasba Pri (6,67 mg/L Pt-Co) y el más alto en la casa de Twi Waupasa (30,21 mg/L Pt-Co) (Sawyer et al., 2001).

pH

Sólo en el sistema de Twi Waupasa, presenta el valor del pH fuera de rango, esto produce daños en la mucosa gástrica de nuestro sistema y los demás sistemas están dentro del rango.

Cloro Total

Ninguno de los cinco sistemas evaluados, cumple con el parámetro de la desinfección esto trae como consecuencia la proliferación de microorganismos patógenos provocando las enfermedades transmitidas por el agua (E.T.A) como el Síndrome Diarreico Agudo (E.D.A) que algunas veces puede llegar a ser mortal.

Cloro Residual

Si en ninguno de los cinco sistemas presentados hay desinfección primaria entonces, no hay punto de quiebre mucho menos desinfección secundaria esto trae como consecuencia que en el transcurso del sistema de abastecimiento de agua potable hasta el consumidor las bacterias se proliferen debido a que no existe un efecto residual de cloro en el agua.

Nitrato

Cuatro de los cinco sistemas presentan altos valores de nitrato, donde los valores más altos están presentes en los sistemas de Santa Rita y Llano (40,87 mg/L) y los más valores bajos están en los sistemas de Wangki y en la escuela de Twi Waupasa (34,06 mg/L), esto puede provocar daños en el estómago cuando determinados microorganismos transforman los nitratos en nitritos, que al ser absorbido en la sangre convierte a la hemoglobina en metahemoglobina que se caracteriza por inhibir el transporte de oxígeno en la sangre (Samaniego y Richard, 2016).

Aunque la formación de metahemoglobina es un proceso reversible, sí puede llegar a provocar muerte, especialmente en niños (Síndrome de bebé azul). Pero también los nitratos pueden formar nitrosaminas y nitrosamidas, compuestos que pueden ser cancerígenos (Samaniego y Richard, 2016).

Hierro

El sistema Tasba Pri es el único que presenta el valor del hierro fuera de rango (0,52 mg/L) por encima del valor permitido de la norma CAPRE, esto ocasiona serios problemas para la infraestructura de redes, válvulas y micromedidores por las incrustaciones y el riesgo de formación de biopelículas al interior de las tuberías, además de problemas de color, presencia de sólidos suspendidos y sabor (Samaniego y Richard, 2016).

Carbono Orgánico Total (COT)

En la escuela y en la casa de Twi Waupasa como en el sistema de Tasba Pri se presentan valores de Carbono Orgánico Total lo cual esto indica la cantidad de Materia Orgánica Natural (MON) existente para la reacción con el desinfectante para la formación de los Subproductos de Desinfección (SPD) (M. J. Rodríguez et al., 2007). Un aumento del carbono orgánico total significa un incremento de subproductos de desinfección si

hubiese cloro (M. J. Rodríguez et al., 2007). Se debe de prestar atención a este parámetro cuando se implemente el proceso de desinfección en los sistemas evaluados ya que las fuentes son mayormente superficiales con alto contenido de material orgánico y la EPA (2011) recomienda un COT menor a 1 mg/L antes del proceso de cloración.

Coliformes Totales

Al no haber desinfección en ninguno de los cinco sistemas reflejados, existe una proliferación de bacterias termotolerantes las cuales son las causantes de las Enfermedades Diarreicas Agudas (E.D.A) siendo está una de las causas más importantes de morbilidad en países en vía de desarrollo y países industrializados (Gómez-Duarte, 2014).

Las causas bacterianas de E.D.A son *Escherichia Coli* seguida de *Salmonella spp.*, *Campylobacter jejuni* y *Vibrio Cholerae* (Gómez-Duarte, 2014).

Debido a los resultados obtenidos de las evaluaciones fisicoquímicas y microbiológicas del agua producida se deduce por qué son altas las Tasas de Enfermedades Diarreicas Agudas (E.D.A.) que se presentan en la Tabla de abajo.

Tabla 33: Datos de Morbilidad
E.D.A (Síndrome Diarreico Agudo)
Casos y Tasas Acumuladas por 10 000 Habitantes
Hasta la 52° semana epidemiológica
PAÍS REPÚBLICA DE NICARAGUA por Municipio
Años 2016 – 2017
Ambos Sexos

Municipio	2016		2017	
	Casos	Tasas	Casos	Tasas
Bonanza	1 142	612,89	974	522,73
Puerto Cabezas	8 269	1 249,68	10 222	1 544,83
Waspam	3 378	715,21	2 396	507,29

Fuente: Minsa, s.f. Los datos de mortalidad no me fueron proporcionados.

Como se puede observar en la tabla de Morbilidad por E.D.A el número de casos ascendió, siendo Puerto Cabezas el más afectado esto indica que la población está en un alto riesgo para su salud.

Mientras que en Bonanza y Waspam presentaron un descenso del 14,71% y 29,07% de casos respectivamente en el año 2017 con respecto al año 2016.

Los resultados que se presentan en la siguiente tabla son obtenidos de las entrevistas y encuestas a los Prestadores de Servicios, Alcaldías, Pobladores, Proveedores de Cloro, los cuáles no coinciden con los resultados de los parámetros obtenidos de los análisis.

Tabla 34: Diagnóstico del Proceso de Desinfección en los Cinco Sistemas de Abastecimiento

Municipio	Proyecto	Sistema	Desinfección con Cloro	Tipo de Cloro	Costo del Cloro (C\$)	Dispositivo de Cloración	Monitoreo del Cloro Total, Cloro Residual, Demanda de Cloro	Aceptación Social	Sostenibilidad	Promoción de Cambios de Hábitos
Bonanza	Wangki Santa Rita	Convencional	Si Si	Hipoclorito de calcio al 65% en ambos sistemas	Lo desconocen	Bomba dosificadora	No	Si	No	Si
Puerto Cabezas	Twi Waupasa	MAG	SI	Pastilla	70 córdobas, la compran a EOS	CTI-8	No	SI	No	Si
Puerto Cabezas	Tasba Pri	MABE	No	Pastilla	70 córdobas, la compran a EOS	CTI-8	No	Si	No	Si
Waspam	Llano	MAG	No	Pastilla		CTI-8	No	Se desconoce	No	Si

De acuerdo a la información proporcionada por los entrevistados, se está haciendo desinfección en Wangki, Santa Rita y Twi Waupasa, lo cual en la visita in situ y la medición del cloro, se comprobó que no hay desinfección.

Si se pudo verificar que existen los equipos para realizar el proceso de desinfección y los tipos de compuestos de cloro que corresponden al tipo de dispositivo de cloración. No había compuestos de cloro en los sistemas de abastecimiento. Tampoco disponían de medidores de cloro.

Revisando los gastos administrativos, porcentaje de morosidad y viendo las tarjetas de los bancos se comprobó que los sistemas son insostenibles económicamente.

No obstante, se conoció a través de las entrevistas con los pobladores que cuando los sistemas estaban recién inaugurados y se cloraba el agua, no había problemas con el sabor del agua clorada. Además, comentaron que recibieron capacitación a través de las visitas casa a casa de promotores sociales, donde se les enseñó hábitos de higiene usando la metodología FECSA (Familia, Escuela, Comunidad, Sociedad y Ambiente).

7.2 Nuevas Cadenas de Cloro

Sin embargo, para llevar a cabo cualquiera de estas cadenas se requiere una adecuada organización, estudio de mercado, disponibilidad de recursos, asignación del personal adecuado y capacitado, asegurar la recuperación de la inversión, un constante monitoreo, tiempo asignado para que los técnicos de las alcaldías se dediquen a las cadenas de cloro, mecanismo de pago y recursos de movilización, para ello, previo a cualquiera de las cadenas de cloro que elijan los técnicos de las UMASH en conjunto con los prestadores de servicio tienen que elaborar un diagnóstico de cómo está el proceso de desinfección en todos los sistemas para conocer: ¿Cuál es el tipo de cloro que utilizan?, ¿Cómo lo preparan?, ¿Cómo están los dispositivos de cloro?, el monitoreo si hay que comprar equipos para hacer el monitoreo y los reactivos, si hacen las mediciones en las casas y si hacen las mediciones solo en el sistema.

Después de que conozcan cómo está todo el sistema ellos tienen que construir una base de datos en excel para ver cada cuánto es que tienen que estar asegurando la compra del cloro y hasta que hagan el estudio del mercado del cloro es que ellos pueden comenzar a implementar las cadenas de cloro ya sea con una ferretería o con un CAPS que sea sostenible o con la misma empresa de agua, pero sin un diagnóstico no pueden iniciar.

La implementación de cualquiera de las cadenas que se proponen estará en dependencia del modelo de alianza del gobierno y de la voluntad de todos los actores del sector de agua y saneamiento.

7.2.1 Criterios de los Modelos de las Cadenas de Cloro

Las cadenas de cloro surgen por la necesidad que se vio en el análisis observacional, las visitas in situ y la comprobación de la medición de cloro en cada sistema que no había cloro, y las preguntas e indagaciones en las entrevistas acerca de los proveedores de cloro que no existían; eso llamó la atención para proponer las nuevas cadenas de cloro.

Debido a lo anterior se propone 4 cadenas de cloro porque cada sistema es muy diferente y en la costa atlántica por su idiosincrasia, la gente piensa de manera diferente.

¿Por qué Enacal?

Porque es el ente regulador de agua y saneamiento y antes atendía los acueductos rurales, compraba su propio cloro y podía abastecer también a los acueductos rurales.

¿Por qué un CAPS Sostenible?

Porque como hay reuniones de CAPS se puede elegir un CAPS que tenga dinero para que compre el cloro y este ser el encargado de vender y llevar un control para hacer que todos los CAPS compren el cloro y se asegure la decisión, pero todos tienen que trabajar en conjunto.

¿Por qué el Minsa?

Con el Minsa habría problema porque tienen una situación económica mala. Lo que compran lo distribuyen para los tanques o para casos de emergencias eventuales, pero apenas le dan un kilogramo al mes que eso lo gasta un día cada sistema. Entonces es imposible, por eso el Minsa es de las cadenas menos propuestas por eso se proponen varias, pero para llevarlas a implementar tiene que ver el gobierno y su modelo de alianza.

¿Por qué las Ferreterías?

Porque hay zonas donde las alcaldías no son de gobierno entonces tienen problemas económicos y los CAPS están prácticamente abandonados y tendría que ser a través de una ferretería si existiera el CAPS Sostenible.

¿Por qué las Alcaldías?

Que sean los que se hagan cargo de comprar el cloro como la experiencia que ha habido en la Dalia y en Morrito que ellos compren el cloro en Managua y tienen un UMASH destinado que lleva en una hoja de excel toda la distribución y toda la compra.

Las cuatro propuestas de cloro tienen que ser a través de las alcaldías y las UMASH porque ellos son los que conocen cada sistema entonces tienen que llevar un doble control. Previo a eso se tuvo que haber hecho un estudio de demanda.

Primer Propuesta



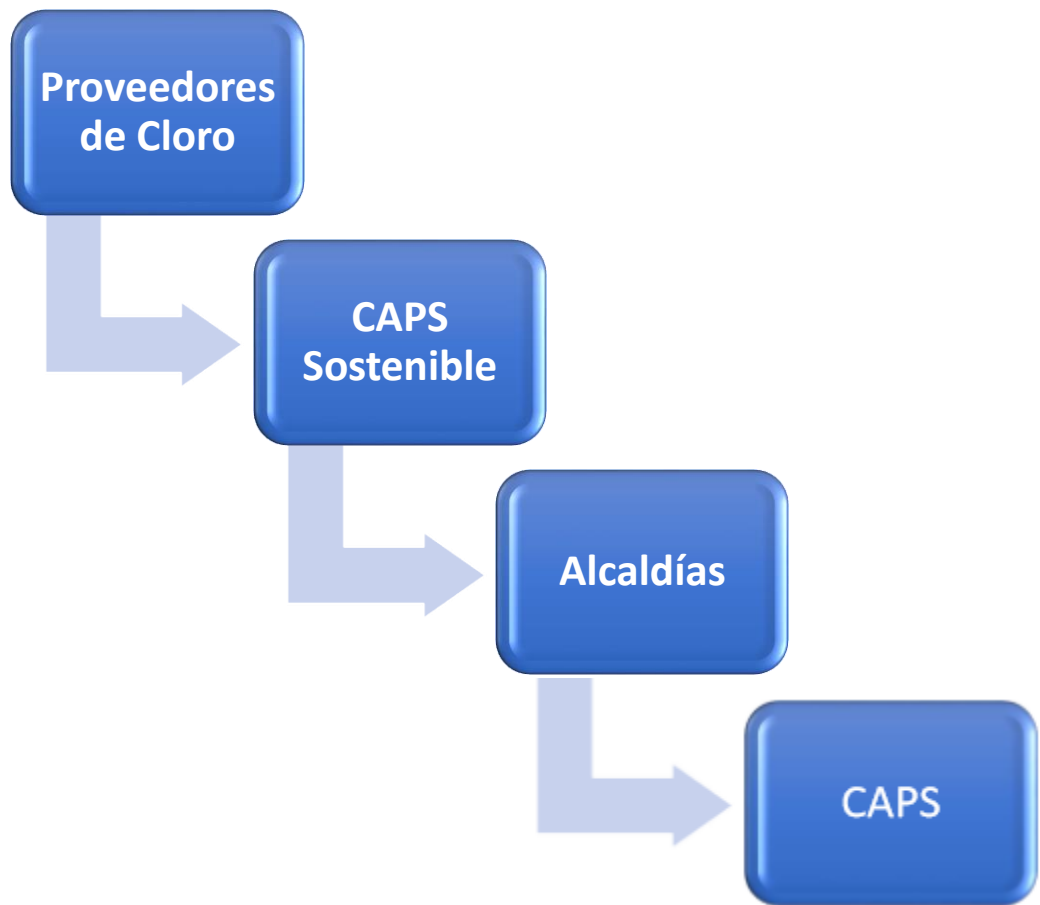
Segunda Propuesta



Tercer Propuesta



Cuarta Propuesta



7.3 Manual de Operación

Esta manual está destinado para los operarios de los sistemas rurales de abastecimiento de agua, se hizo de una manera muy sencilla ya que es muy gráfico y explica paso a paso los métodos para lograr una buena desinfección, se encuentra en el Anexo C.

VIII. CONCLUSIONES

Se evaluaron cinco sistemas los cuales están localizados en la Región Autónoma Costa Caribe Norte (RACCN) encontrándose que en ninguno de los sistemas existe el proceso de desinfección lo que pone en riesgo la salud de la población porque las comunidades de estos sistemas están recibiendo agua no segura.

En la evaluación de la calidad del agua de los sistemas se encontró que ninguno de los parámetros como Turbiedad, Color, pH, Cloro Total, Cloro Residual, Nitrato, Hierro, Carbono Orgánico Total y Coliformes Totales y Termorresistentes se encuentran dentro de la norma de la legislación nacional de potabilización de agua lo que significa que no se está cumpliendo con el Sexto Objetivo del Milenio que es recibir un agua segura.

Se hicieron cuatro propuestas de cadena de cloro las cuales se podrían implementar dependiendo de cada tipo de sistema de abastecimiento y la idiosincrasia de la comunidad; puede ser que ENACAL, MINSA, un CAPS Sostenible, la Alcaldía o una Ferretería Fuerte sean los encargados del suministro de cloro; pero independiente de quien sea; los UMASH de la alcaldía deben de tener el listado de los CAPS del municipio con el diagnóstico del tipo de cloración y ser los garantes de que el proceso de desinfección sea continuo y que se asegure un abastecimiento de agua con la calidad requerida y segura microbiológicamente.

Se propone un manual de operación que facilita el manejo y el proceso de desinfección en estas comunidades, es un manual gráfico que facilita la comprensión de las tareas que se deben hacer para asegurar la desinfección.

IX. RECOMENDACIONES

La realización de un estudio socioeconómico más el estudio de demanda de cloro para poder implementar las cadenas de cloro.

Implementar programas de higiene.

Implementar programas de capacitación real para poder calcular la dosis de cloro y una mejor operación y mantenimiento de los sistemas.

Que el modelo de alianza funcione adecuadamente con los entes reguladores ya sea en la zona urbana o en la zona rural que haya la presencia de todos los actores en el territorio porque muchas veces se encuentran abandonados.

Los datos de la calidad de agua que miden las Organizaciones No Gubernamentales (ONG) y todos, le sean entregados a los CAPS, ya que, desconocen la calidad del agua que están recibiendo.

Proporcionar el manual de operación y mantenimiento a los UMASH para que todos los CAPS puedan acceder a este.

X. LISTA DE REFERENCIA

- Agua, I. (1998). Calidad del Agua. *Muestreo. Manejo y conservación de muestras*, Quito.
- AGUASAN. (s.f.). *Con Agua, Saneamiento e Higiene, HOY LA GENTE VIVE MEJOR* Cooperación Suiza en América Central.
- Agustini, S. y Si, M. (2017). Harmonisasi Standar AMDK menurut SNI dan Standar Internasional. *JURNAL TEKNOLOGI AGROINDUSTRI*, 9(1), 11.
- Alvarado, D. M. (1998). Criterios microbiológicos para evaluar la calidad del agua en sus diferentes usos. *Revista Costaricense de Salud Publica*, 7(13), 23-33.
- Ancco, I. (2015). *Microbiología del suelo*. Perú: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y Práctica de la Purificación del Agua* (3 ed.): McGraw Hill.
- Argaman, Y. y Kaufman, W. (1970). *Turbulence and Flocculation*: American Society of Civil Engineers.
- Arsénico. (s.f.). Consultado el 28 de Agosto de 2018, Recuperado de <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
- Asociación Nacional de Electroquímica. (2018). Cloro. Consultado el 28 de Agosto de 2018, Recuperado de <http://www.cloro.info/preguntas-frecuentes/preguntas-sobre-cloro-y-agua>
- Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. (1998). Dióxido de Cloro. *Organizacion Panamericana de la Salud*, 39-40.
- Boletín Informativo El Agua. (2015). 12. https://www.paho.org/nic/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=datos-y-estadisticas&alias=716-boletin-informativo-el-agua&Itemid=235
- Bomba Dosificadora, Su Importancia en la Purificación del Agua. (2018). Consultado el 26 de Enero de 2019, Recuperado de <http://prodetecs.com/bomba-dosificadora-su-importancia-en-la-purificacion-del-agua/>
- Bonanza. (2013). Consultado el 12 de Febrero de 2019, Recuperado de <http://unicef.org.ni/municipio/16/rosita/>

Caracterizacion Municipal de Bonanza. (s.f.). *Nicaragua*. Consultado el 14 de Marzo de 2019, Recuperado de <http://biblioteca.enacal.com.ni/bibliotec/Libros/enacal/Caracterizaciones/Raan/Bonanza.html>

Caracterizacion Municipal de Puerto Cabezas. (s.f.). *Nicaragua*. Consultado el 14 de Marzo de 2019, Recuperado de <http://biblioteca.enacal.com.ni/bibliotec/Libros/enacal/Caracterizaciones/Raan/PuertoCabezas.html>

Carbono Organico Total. (s.f.). Consultado el 11 de Septiembre del 2018, Recuperado de <https://www.lar.com/es/productos/analisis-de-cot/toc-carbono-organico-total.html>

Central, C. S. e. A. (s.f.). *FECSA Guia Promotor(a) Comunitario(a)*. Nicaragua: World Vision.

Clase de Norma. (s.f.). Consultado el 26 de Septiembre de 2018, Recuperado de <http://www.feim.org/es/clases-de-normas>

Cloradores. (s.f.). Consultado el 12 de Enero de 2018, Recuperado de http://www.living-water.org/cloradores_cloracion_cloro.htm

Clorinacion por Gas. (s.f.). Consultado el 1 de Enero de 2018, Recuperado de http://www.aquamarket.com/productos/productos.asp?producto=23794&nombre_producto=clorinador+a+gas

Consejo Economico y Social de las Naciones Unidas. (2016). Informe del Grupo Interinstitucional y de Expertos sobre los Indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. *Naciones Unidas*, 25-26.

COSUDE. (2007). Guia para la Seleccin del Sistema de Desinfeccion. 33. <http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/agua/guiaseleccsistdesinf.pdf>

Enfermedades de Origen Hidrico. (s.f.). Consultado el 23 de Enero de 2018, Recuperado de http://www.aguasimple.org.mx/revistav3/index.php?option=com_content&view=article&id=217:enfermedades-de-origen-hidrico&catid=30:tambien-es-agua-v3&Itemid=3

Environmental Protection Agency. (2011). *Water Treatment Manual: Disinfection* (pp. 1-66). Recuperado de https://www.epa.ie/pubs/advice/drinkingwater/Disinfection2_web.pdf

- Evaluacion de la Calidad de Agua de Bebida. (2005). 40.
http://www.bvsde.org.ni/Web_textos/OPS/OPS0012/EvaluacionCalidad.pdf
- Folleto Informativo Temperatura. (s.f.). 1.
https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3120sp.pdf
- Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, U., ; y Organizacion Mundial de la Salud, O., ;. (2017). *Agua Potable Gestionada de Forma Segura*. Estados Unidos de America: Biblioteca de la Organización Mundial de la Salud (OMS).
- García, I. (2017). *Curso de la asignatura Fundamentos de Ingeniería Ambiental 1 presentada en la Universidad Nacional de Ingeniería*. .
- Gómez-Duarte, O. G. (2014). Enfermedad diarreica aguda por *Escherichia coli* enteropatógenas en Colombia. *Revista chilena de infectología*, 31(5), 577-586.
- GOOGLE. (2018). Google Maps. Consultado, Recuperado de <https://www.google.com/maps>
- Guia para la Calidad del Agua Potable (2006). 1, 408.
http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf
- Gutiérrez, M. (s.f.). Normas CAPRE sobre calidad del agua para consumo humano. *Normas de Calidad de Agua Potable en las Américas*. sl, 2-11.
- Hach Company. (1997). Manual del Hach DR/2000 Spectrophotometer 3-27,423, 465 y 619.
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/Capitulo1/6AnexoNitrogenoyfosforo.pdf>
- Hach Company. (2000). *Manual de Analisis de Agua HACH*, (pp. 157-162). Recuperado de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiHkpGSiv7cAhURtIMKHaj3AfAQFjAAegQIAxAC&url=https%3A%2F%2Fwww.hach.com%2Fasset-get.download.jsa%3Fid%3D7639984469&usq=AOvVaw0e7m1GTv_BwUBIEdm2_2_ak
- Hach Company. (2005). DR 5000 Spectrophotometer Procedures Manual (2 ed.). Germany.
- Hierro en las aguas subterráneas. (s.f.). Consultado el 28 de Agosto de 2018, Recuperado de <https://www.lenntech.es/agua-subterranea/hierro.htm>

- Jacob, F. y Taflin, C. (s.f.). Manual El Clorador CTI-08. 24.
<https://es.scribd.com/document/199739812/Manual-CTI8-11-docx>
- Jaramillo, C. N. (2010). *Desinfección del Agua para Uso Humano*. Ingeniero Civil, Escuela Politecnica Nacional, Quito. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2134/1/CD-2893.pdf>
- Kahn, F. H. y Visscher, B. (1975). Water disinfection in the wilderness a simple, effective method of iodination. *Western Journal of Medicine*, 122(5), 4.
- La Gaceta. (2000). Normas Tecnicas para el Diseño de Abastecimiento y Potabilizacion del Agua (NTON 09 003-99),. 17-19.
- La Gaceta. (s.f.). Normas para la Clasificación de los Recursos Hídricos (NTON 05-007-98). 1-8. http://www.inaa.gob.ni/documentos/Normativas/seccion-1/1.normasy criterios.pdf/at_download/file
- Lázaro, E. (s.f.). *Desinfección de Aguas para Consumo Humano* Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Leal, M. T., Bandala, E., Santiago, G., Silvia, L. y Pérez, S. (1999). Trihalometanos en agua para consumo humano.
- Lenis, J. D. (2015). Presencia de Nitrito, Nitrato y Amonio en el Agua. Consultado el 28 de Agosto de 2018, Recuperado de https://prezi.com/x_ug6d7hqz4r/presencia-de-nitrito-nitrato-y-amonio-en-el-agua/
- Log removal values in wastewater treatment. (2014). *Water Research Australia*, 1.
- Los hábitos de higiene. (2005). 16.
<https://www.unicef.org/venezuela/spanish/HIGIENE.pdf>
- Lower, Yakima y Valley. (2012). Las preguntas comunes y sus respuestas sobre el nitrato y el agua potable. 1. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-12/documents/lower-yakima-valley-groundwater-faq-spanish-october-2012.pdf>
- Marconi, J. A. (2013). Los Compuestos Químicos Inorgánicos. <https://www.monografias.com/trabajos95/compuestos-quimicos-inorganicos/compuestos-quimicos-inorganicos.shtml#top>
- Molina, J. A. (2001). *Características físicas, químicas y del fitoplancton de la Laguna Costera "Laguna de Perlas" (RAAS), con énfasis en la Calidad del Agua*. Tesis de Maestría, Universidad Autonoma de Barcelona, España. Recuperado de <http://repositorioiidca.csuca.org/Record/RepoUNANM4930>

- Nicaragua. (2019). Consultado el 4 de Febrero de 2019, Recuperado de <http://www.siasar.org/es/paises/nicaragua>
- Normativas Nacionales. (s.f.). Consultado el 26 de Septiembre de 2018, Recuperado de <http://ingenioquality.com/portfolio/normativas-nacionales/>
- Potabilizacion. (2014). Consultado el 12 de Agosto de 2018, Recuperado de <http://hidritec.blogspot.es/tags/potabilizacion/>
- Powers, E., Hernandez, C., Boutros, S. y Harper, B. (1994). Biocidal Efficacy of a Flocculating Emergency Water Purification Tablet. 8. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC201649/pdf/aem00024-0120.pdf>
- Puerto Cabezas en Cifras. (2008). *Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE)*, 63.
- Ramirez, C. M. (s.f.). Desinfección con Cloruro de Bromo. Consultado el 12 de Febrero de 2018, Recuperado de http://www.acquatron.com.ar/pdf/desinfeccion_con_cloruro_de_bromo.pdf
- Ramirez, J. (s.f.). El Factor CT. 3. http://www.elaguapotable.com/El_factor_CT.pdf
- Rodríguez. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto,(ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre. *Pensamiento Actual*, 9(12), 125-134.
- Rodríguez, M. J., Rodríguez, G., Serodes, J. y Sadiq, R. (2007). Subproductos de la desinfección del agua potable: formación, aspectos sanitarios y reglamentación. *Interciencia*, 32(11), 4.
- Rosita. (2013). Consultado el 12 de Febrero de 2019, Recuperado de <http://unicef.org.ni/municipio/16/rosita/>
- Samaniego, R. y Richard, O. (2016). *Determinación de la presencia de nitratos/nitritos y manganeso en el agua proveniente del pozo parador turístico que alimenta la zona baja del cantón Huaquillas y su efecto a la salud pública. Propuesta de remoción usando un prototipo piloto*. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/11951>
- Sanchez, N. (1997). Alternativa de Desinfeccion del Agua. 2, 6. <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/vigilancia/rtv0597.pdf>

Sawyer, C. N., McCarty, P. L., Parkin, G. F. y de García, L. A. (2001). *Química para Ingeniería Ambiental* (Cuarta ed.). Colombia: McGraw-Hill.

Waspam. (2013). Consultado el 13 de Marzo de 2019, Recuperado de <http://unicef.org.ni/municipio/22/waspam/>

Waspam. (s.f.). Consultado el 14 de Marzo de 2019, Recuperado de <https://www.manfut.org/RAAN/waspan.html>

Waspam en Cifras. (2008). *Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE)*, 67.

Water Aid. (s.f.). Higiene. Consultado el 5 de Febrero de 2018, Recuperado de <http://wateraidnicaragua.org/higiene/>

Water Treatment and Purification. (s.f.). Consultado el 25 de Enero de 2018, Recuperado de <https://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/factores/factores-definfeccion-agua.htm>

Witt, V. M. y Reiff, F. M. (1993). La desinfección del agua a nivel casero en zonas urbanas marginales y rurales. 28-33. http://usam.salud.gob.sv/archivos/pdf/agua/Desinfeccion_Agua_Casero_Zonas%20Urbanas_%20Marginales_Rurales.pdf

A.1 Normas Nacionales**Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense, 05 007-98**

Esta norma también conocida como NTON 05 007-98 establece los parámetros para determinar los niveles de calidad exigibles de los cuerpos de agua (lagos, lagunas, lagos artificiales, manantiales, ríos, aguas subterráneas, estuarios y mares), de acuerdo con los usos a los cuales se destinen, por eso se divide en seis tipos. El tipo uno es el que se presenta a continuación (La Gaceta, s.f.):

Tipo 1. Aguas destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requiera de agua potable, siempre que ésta forme parte de un producto o sub-producto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él. Las aguas de este tipo se desagregan en dos categorías (La Gaceta, s.f.):

- Categoría 1-A: Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes; y
- Categoría 1-B: Aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y/o cloración (La Gaceta, s.f.).

Tabla A.1: NTON 05 007-98

Parámetro	Límite o Rango Máximo	
	Categoría 1 A	Categoría 1 B
Oxígeno disuelto (OD)	Mayor a 4,0 mg/L (*)	Mayor a 4,0 mg/L (*)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	2,0 mg/L	5,0 mg/L
pH	Mín. 6,0 y máx. 8,5	Mín. 6,0 y máx 8,5
Color Real	<15 U Pt-Co	<150 U Pt-Co
Turbiedad	<5 UNT	<250 UNT
Fluoruros	Mín. 0,7 y máx. 1,5	< 1,7 mg/L
Hierro Total	0,3 mg/L	3 mg/L
Mercurio Total	0,001 mg/L	0,01 mg/L
Plomo Total	0,01 mg/L	0,05 mg/L
Sólidos Totales Disueltos	1000 mg/L	1500 mg/L
Sulfatos	250 mg/L	400 mg/L
Zinc	3 mg/L	5 mg/L
Cloruros	250 mg/L	600 mg/L
Coliformes Totales	(**)	(***)

Fuente: La Gaceta, s.f.

(*) También puede ser expresado como porcentaje de saturación y debe ser mayor de 50%

(**) Promedio mensual menor de 2,000 NMP por cada 100 mL.

(***) Promedio mensual menor de 10,000 NMP por cada 100 mL.

Tabla A.2: Continuación NTON 05 007-98

Parámetro	Límite o Rango Máximo (mg/L)
Cianuro Total	0,1
Cobre Total	2,0
Cromo Total	0,05
Detergentes	1
Dispersantes	1
Dureza como CaCO ₃	400
Extracto de carbono al cloroformo	0,15
Fenoles	0,002
Manganeso Total	0,5
Nitritos + Nitratos (N)	10
Plata Total	0,05
Selenio	0,01
Sodio	200
Organofosforados y Carbamatos	0,1
Organoclorados	0,2

Fuente: La Gaceta, s.f.

Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense, 09 003-99

Esta norma también conocida como Normas Técnicas para el Diseño de Abastecimiento y Potabilización del Agua (NTON 09 003-99) que tiene como objetivo establecer las principales directrices para el diseño de los sistemas de abastecimiento de aguas para el buen desarrollo y funcionamiento de los sistemas actuales y futuros (La Gaceta, 2000).

Tabla A.3: Parámetros Biológicos y Microbiológicos

Organismo	Unidad	Valor Guía	Observaciones
I. Calidad Microbiológica			
A. Agua distribuida por tuberías.			
A-1 Agua sometida a tratamiento que entra en el sistema de distribución.			
Bacterias coliformes fecales	Número/100mL	0	Turbiedad UTN para la desinfección con el cloro es preferible un pH igual a 8,0 con 0,2 a 0,5 mg/L de cloro residual libre después del contacto durante treinta minutos (tiempo mínimo)
Bacterias coliformes	Número/100mL	0	
A-2 Agua no sometida a tratamiento que entra en el sistema de desinfección.			
Bacterias coliformes fecales	Número/100mL	0	En el 98% de las muestras examinadas durante el año, cuando se trata de grandes sistemas de abastecimiento y se examinan suficientes muestras.
Bacterias coliformes	Número/100mL	0	
Bacterias coliformes fecales	Número/100mL	3	Ocasionalmente en alguna muestra, pero no en muestras consecutivas
A-3 Agua en el sistema de distribución			
Bacterias coliformes	Número/100mL	0	En el 95% de las muestras examinadas durante el año cuando se trata de grandes sistemas de abastecimiento y se examinan suficientes muestras.
Bacterias coliformes	Número/100mL	3	Ocasionalmente en alguna muestra, pero no en muestras consecutivas.
B. Agua no distribuida por tuberías			
Bacterias fecales	Número/100mL	0	No debe ocurrir en forma repetida, cuando el hecho sea frecuente y no se pueda mejorar la protección sanitaria, si es posible se deberá buscar otra fuente.
Bacterias coliformes	Número/100mL	10	
C. Agua embotellada.			
Bacterias coliformes totales	Número/100mL	0	La fuente debe estar exenta de contaminación fecal.
Bacterias coliformes fecales	Número/100mL	0	
D. Abastecimiento de agua en situaciones de emergencia.			
Bacterias coliformes fecales	Número/100mL	0	

Organismo	Unidad	Valor Guía	Observaciones
Enterovirus	No se han fijado		
II. Calidad Biológica			
Protozoarios (patógenos)	No se han fijado		
Helmintos (patógenos)	No se han fijado		
Organismos de vida libre (algas, otros)	No se han fijado		

Fuente: La Gaceta, 2000.

Tabla A.4: Parámetros Organolépticos

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Color verdadero	mg/L (pt-Co)	1	15
Turbiedad	UNT	1	5
Olor	Factor dilución	0	2°C a 12°C 3°C a 25°C
Sabor	Factor dilución	0	2°C a 12°C 3°C a 25°C

Fuente: La Gaceta, 2000.

Tabla A.5: Parámetros Fisico-Químicos

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Temperatura	°C	18 a 30	
Concentración			
Iones hidrógeno	Valor pH	6,5 a 8,5 (a)	
Cloro residual	mg/L	0,5 a 1,0 (b)	(c)
Cloruros	mg/L	25	250
Conductividad	µs/cm	400	
Dureza	mg/L CaCO ₃	400	
Sulfatos	mg/L	25	250
Aluminio	mg/L		0,2
Calcio	mg/L CaCO ₃	100	
Cobre	mg/L	1	2,0
Magnesio	mg/L MgCO ₃	30	50
Sodio	mg/L	25	200
Potasio	mg/L		10
Sólidos Totales			
Disueltos	mg/L		100
Zinc	mg/L		3,0

Fuente: La Gaceta, 2000.

- a) Las aguas deben ser estabilizadas de manera que no produzcan efectos corrosivos ni incrustantes en las tuberías.
b) Cloro residual libre.
c) 5 mg/L en casos especiales para proteger a la población de brotes epidémicos.

Tabla A.6: Parámetros para Sustancias no Deseadas

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Nitrato (NO_3^-)	mg/L	25	45
Nitritos (NO_2^-)	mg/L	0,1	1
Amonio	mg/L	0,05	0,5
Hierro	mg/L		0,3
Manganeso	mg/L	0,1	0,5
Fluoruro	mg/L		0,7-1,5
Sulfuro de hidrógeno	mg/L		0,05

Fuente: La Gaceta, 2000.

Tabla A.7: Parámetros para Sustancias Inorgánicas de Significado para la Salud

Parámetro	Unidad	Valor Máximo Admisible
Arsénico	mg/L	0,01
Cadmio	mg/L	0,05
Cianuro	mg/L	0,05
Cromo	mg/L	0,05
Mercurio	mg/L	0,001
Niquel	mg/L	0,05
Plomo	mg/L	0,01
Antimonio	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,01

Fuente: La Gaceta, 2000.

Tabla A.8: Parámetros para Sustancias Orgánicas de Significado para la Salud, excepto Plaguicidas

Parámetros	Valor Máximo Admisible ($\mu\text{g/L}$)
Alcanos Clorados	
Tetracloruro de Carbono	2
Diclorometano	20
1,1-dicloroetano	
1,2-dicloroetano	30
1,1,1-tricloroetano	2000
Etenos Clorados	
Cloruro de vinilo	5
1,1-dicloroeteno	30
1,2-dicloroeteno	50
Tricloroeteno	70
Tetracloroeteno	40
Hidrocarburos Aromáticos	
Tolueno	700
Xilenos	500
Etilbenceno	300

Parámetros	Valor Máximo Admisible (µg/L)
Estireno	20
Benzo-alfa-pireno	0,7
Bencenos Clorados	
Monoclorobenceno	300
1,2-diclorobenceno	1000
1,3-diclorobenceno	
1,4-diclorobenceno	300
Triclorobencenos	20
Otros Compuestos Orgánicos	
Di adipato (2-etilhexil)	80
Di (2-etilhexil)ftalato	8
Acrilamida	0,5
Epiclorohidrino	0,4
Hexaclorobutadieno	0,5
EDTA	200
Acido nitriloacético	200
Dialkitinos	
Oxido de tributilestaño	2
Hidrocarburos policíclicos aromáticos totales	0,2
Befinilos policlorados totales	0,5

Fuente: La Gaceta, 2000.

Tabla A.9: Parámetros para Plaguicidas

Parámetros	Valor Máximo Admisible (µg/L)
Alacloro	20
Aldicarb	10
Aldrin/ dieldrin	0,03
Atracina	2
Bentazona	30
Camofurano	5
Clordano	0,2
DDT (Dicloro difenil tricloroetano)	2
1,2-dibromo-3,3-cloropropano	1
2,4-D (2,4-diclorofenoxiacético)	30
1,2-dicloropropano	20
1,3-dicloropropano	20
Heptacloro y hemptacloroepóxido	0,03
Isoproturon	9
Lindano	2
MCPA (ácido 4-cloro-2-toliloxiacético)	2
Metoxicloro	20
Metolacloro	10
Molinat	6
Pendimetalina	20

Pentaclorofenol	9
Permitrina	20
Propanil	20
Pryridad	100
Simazin	2
Trifluranilo	20
Dicloroprop	100
2,4-DB (Acido 2,4 diclorofenoxibutírico)	100
2,4,5-T (Ácido 2,4,5-triclorofenoxiacético)	9
Silvex	9
Mecoprop	10

Fuente: La Gaceta, 2000.

Tabla A 10: Parámetros de Subproductos de la Desinfección

Parámetros	Valor Máximo Admisible (µg/L)
a- Desinfectantes	
Monocloramina	4000
b- Subproductos de la Desinfección	
Bromato	25
Clorito	200
Clorato	
Clorofenoles	
2-clorofenol	
2,4-diclorofenol	
2,4,6-triclorofenol	200
Formaldehído	900
Trihalometanos	
Bromoformo	100
Dibromoclorometano	100
Bromodiclorometano	60
Cloroformo	200
Ácidos Acéticos Clorados	
Ácido Monocloroacéticos	
Ácido Dicloroacético	50
Ácido Tricloroacético	100
Tricloroacetaldehído / clorolhidrato	100
Cloropropanonas	
Haloacetónitrilos	
Dicloroacetónitrilo	90
Dibromoacetónitrilo	100
Bromocloroacetónitrilo	
Tricloroacetónitrilo	1
Cloruro de cianógeno (como CN-)	70

Fuente: La Gaceta, 2000.

A.2 Normativa para Centroamérica y el Caribe

Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (CAPRE)

Su objetivo es proteger la salud pública y, por consiguiente, ajustar, eliminar o reducir al mínimo aquellos componentes o características del agua que pueden representar un riesgo para la salud de la comunidad e inconvenientes para la preservación de los sistemas de abastecimiento del agua (Gutiérrez, s.f.).

Tabla A.11: Parámetros Organolépticos

Parámetro	Unidad	Norma CAPRE	
		Valor Guía	Valor Máximo
Color	UC	1	20
Turbiedad	UT	1	5

Fuente: (Gutiérrez, s.f.)

Tabla A.12: Parámetros Fisicoquímicos

Parámetro	Unidad	Norma CAPRE	
		Valor Guía	Valor Máximo
Temperatura	UC	12	25
pH	UT	6,5-8,5	
Cloruros	mg/L	25	250
Sulfatos	mg/L	25	250
Calcio	mg/L	100	
Magnesio	mg/L	30	50
Dióxido de Carbono	mg/L		
Oxígeno Disuelto	mg/L	8	
Conductividad	µs/cm	400	
Sodio	mg/L	25	175
Potasio	mg/L	10	
Aluminio	mg/L		
Dureza	mg/L		

Fuente: (Gutiérrez, s.f.)

Tabla A.13: Parámetros para Sustancias Indeseables

Parámetro	Unidad	Norma CAPRE	
		Valor Guía	Valor Máximo
Nitratos	mg/L	25	50
Nitritos	mg/L		0,1
Amonio NH ₄	mg/L	0,05	0,5
Hierro	mg/L	0,05	0,2
Manganeso	mg/L	0,02	0,05
Cobre	mg/L		
Fosforo	mg/L		
Fluoruro	mg/L	1,5(8°C-12°C)	
		0,7(25°C-30°C)	
Zinc	mg/L		
Bario	mg/L		
Plata	mg/L		

Fuente:(Gutiérrez, s.f.)

Tabla A.14: Parámetros para Sustancias Tóxicas

Parámetro	Unidad	Norma CAPRE	
		Valor Guía	Valor Máximo
Arsenico	mg/L	0,01	
Berilio	mg/L		
Cadmio	mg/L	0,005	
Cianuro	mg/L	0,05	
Cromo	mg/L	0,05	
Mercurio	mg/L	0,001	
Níquel	mg/L	0,02	0,05
Plomo	mg/L		0,01
Antimonio	mg/L	0,005	0,01
Selenio	mg/L		0,01

Fuente: (Gutiérrez, s.f.)

A.3 Normas Internacionales

Guías de las Normas de la Organización Mundial de la Salud (OMS)

Las guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS) garantiza la inocuidad microbiológica del agua potable, en particular por medio de planes de salubridad del agua completos y aplicados a sistemas concretos (Gutiérrez, s.f.).

Tabla A.15: Parámetros Organolépticos

Parámetro	Unidad	Guías OMS	
		Valor Guía	Valor Máximo.
Color	UC	15	
Turbiedad	UT	1	

Fuente: Gutiérrez, s.f.

Tabla A.16: Parámetros Fisicoquímicos

Parámetro	Unidad	OMS
		Valor Guía
Temperatura	UC	-
pH	UT	6,5-8,5
Cloruros	mg/L	250
Sulfatos	mg/L	250
Calcio	mg/L	-
Magnesio	mg/L	-
Dióxido de Carbono	mg/L	
Oxígeno Disuelto	mg/L	-
Conductividad	µs/cm	-
Sodio	mg/L	200
Potasio	mg/L	
Aluminio	mg/L	0,2
Dureza	mg/L	500

Fuente: Gutiérrez, s.f.

Tabla A.17: Parámetros para Sustancias Indeseables

Parámetro	Unidad	OMS
		Valor Guía
Nitratos	mg/L	50
Nitritos	mg/L	3
Amonio NH ₄	mg/L	1,5
Hierro	mg/L	0,3
Manganeso	mg/L	0,1
Cobre	mg/L	1
Fosforo	mg/L	
Fluoruro	mg/L	1,5 (8°C-12°C)
Zinc	mg/L	3
Bario	mg/L	0,7
Plata	mg/L	

Fuente: Gutiérrez, s.f.

Tabla A.18: Parámetros para Sustancias Tóxicas

Parámetro	Unidad	OMS
		Valor Guía
Arsenico	mg/L	0,01
Berilio	mg/L	-
Cadmio	mg/L	0,003
Cianuro	mg/L	0,07
Cromo	mg/L	0,05
Mercurio	mg/L	0,001
Níquel	mg/L	0,02
Plomo	mg/L	0,01
Antimonio	mg/L	0,005
Selenio	mg/L	0,01

Fuente: Gutiérrez, s.f.

Normas EPA

La Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos de América (EPA) por sus siglas en inglés (Environmental Protection Agency) es una agencia del gobierno federal de Estados Unidos encargada de proteger la salud humana y proteger el medio ambiente: aire, agua y suelo. También conocida como USEPA (United States Environmental Protection Agency) Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (Agustini y Si, 2017).

Tabla A.19: Los Estándares del Reglamento Nacional Primario de Agua Potable

	Contaminante	Meta para la Salud (mg/L equivalentes a ppm)	Posible Efecto en la Salud por Exposición que supere el NMC	Fuentes de Contaminación Comunes del Agua Potable
QI	Antimonio	0,006	Aumento de colesterol en sangre, hipoglicemia	Efluentes de refineries de petróleo, retardadores de fuego; cerámica; productos electrónicos; soldaduras.
QI	Arsénico	0,0	Lesiones en la piel; trastornos circulatorios, alto riesgo de cáncer	Erosión de depósitos naturales de ciertos minerales que son radiactivos y pueden emitir radiación conocida como radiación alfa
QI	Asbesto (Fibra>10 micrómetros)	7,0 MFL	Alto riesgo de desarrollar pólipos intestinales benignos	Deterioro de cemento amiantado (Fibrocemento), en cañerías principales naturales
QI	Bario	2,0	Aumento en la presión arterial	Aguas con residuos de perforaciones, efluentes de refineries de metales, erosión de depósitos naturales
QO	Benceno	0,0	Anemia, trombocitopenia, alto riesgo de cáncer	Efluentes de fábricas, lixiviación de tanques de almacenamiento de combustible y de vertederos para residuos.
QI	Cadmio	0,005	Lesiones renales	Comisión de tubos galvanizados; erosión de depósitos naturales; efluentes de refineries de metales, líquidos de escurrimientos de baterías usadas y de pinturas.
D	Cloro (como Cl ₂)	MRDGL= 4,0	Irritación en los ojos/ nariz; problemas estomacales	Aditivo del agua usado para control de microbios
QO	Clorobenceno	0,1	Trastornos hepáticos o renales	Efluentes de plantas químicas y de plantas de fabricación de agroquímicos
QI	Cromo (Total)	0,1	Dermatitis alérgica	Efluentes de fábricas de acero y papel, erosión de depósitos naturales
QI	Cobre	1,3	Exposición a corto plazo, molestias gastrointestinales. Exposición a largo plazo lesiones hepáticas o renales.	Corrosión de cañerías en el hogar, erosión de depósitos naturales.
M	<i>Cryptosporidium</i>	0,0	Trastornos gastrointestinales (ej. Diarrea, vómitos, cólicos)	Heces fecales de humanos y animales
QI	Cianuro (como cianuro libre)	0,2	Lesiones en el sistema nervioso o problemas de tiroides	Efluentes de fábricas de acero y metales; efluentes de fábricas de plásticos y fertilizantes
QI	Flúor	4,0	Enfermedades óseas (dolor y fragilidad ósea). Los niños podrían sufrir de dientes manchados.	Aditivo para agua para tener dientes fuertes; erosión de depósitos naturales; efluentes de fábricas de fertilizantes y de aluminio.
M	<i>Giardia lamblia</i>	0,0	Trastornos gastrointestinales (diarrea, vómitos, cólicos)	Desechos fecales humanos y de animales.
SDD	Ácidos haloacéticos (HAA5)	0	Alto riesgo de cáncer	Subproducto de la desinfección del agua potable

Contaminante		Meta para la Salud (mg/L equivalentes a ppm)	Posible Efecto en la Salud por Exposición que supere el NMC	Fuentes de Contaminación Comunes del Agua Potable
QI	Plomo	0	Bebes y niños: retraso en el desarrollo físico o mental; los niños podrían padecer de un leve déficit de atención y de capacidad de aprendizaje. Adultos: trastornos renales; hipertensión	Corrosión de los sistemas de cañería en el hogar, erosión de depósitos naturales.
QI	Mercurio (inorgánico)	0,002	Lesiones renales	Erosión de depósitos naturales, efluentes de refineras y fábricas; lixiviados de agua contaminadas de vertederos y tierras de cultivo.
QI	Nitrato (medido como nitrógeno)	10	En los bebes menores de seis meses presentan dificultad respiratoria y síndrome de bebé azul	Aguas contaminadas por el uso de fertilizantes; lixiviación de tanque sépticos y de redes de alcantarillado; erosión de depósitos naturales.
QI	Nitrito (medido como nitrógeno)	1	En los bebes menores de seis meses presentan dificultad respiratoria y síndrome de bebé azul	Aguas contaminadas por el uso de fertilizantes; lixiviación de tanque sépticos y de redes de alcantarillado; erosión de depósitos naturales.
QO	Tolueno	1	Problemas renales, hepáticos o del sistema nervioso	Efluentes de refineras de petróleo
M	Coliformes Totales (incluyendo los coliformes fecales y E. coli)	0	No representan un riesgo para la salud por sí mismos; sólo indica si otras bacterias potencialmente peligrosas pueden estar presentes	Los coliformes están presentes naturalmente tanto en el medio ambiente como en las heces fecales; los coliformes fecales y E. coli solamente provienen de las heces humanas y de animales.
SDD	Trihalometanos totales (TTHM)	Bromodichlorometano (cero), Bromoformo (cero) y Dibromoclorometano (0,06)	Trastornos hepáticos, renales o del sistema nervioso; alto riesgo de cáncer	Subproducto de la desinfección del agua potable
M	Turbiedad	< 1 NTU	Una alta turbidez suele asociarse con altos niveles de microorganismos que causan enfermedades, como, por ejemplo, virus, parásitos y algunas bacterias. Estos organismos pueden provocar síntomas tales como náuseas, cólicos, diarrea y dolores de cabeza asociados.	Agua de escorrentía por el terreno

Fuente: Agustiniy Si, 2007.

QI: Químico Inorgánico, QO: Químico Orgánico, M: Microorganismo, SPD: Subproducto de la Desinfección, MFL: Millones de Fibras por Litros, NMC: Nivel Máximo de Contaminante, MRDGL: Nivel Máximo de Residuo Desinfectante.

Anexo B:

Instrumentos para los Actores Claves

B.1 Población

Encuesta para Población

Buenas tardes el fin de esta encuesta es para hacer el trabajo de mi tesis monográfica de “*Evaluación de los procesos de desinfección en los cinco sistemas de abastecimiento de agua potable rurales*” con el fin de identificar las debilidades y fortalezas que afectan los procesos con cloro en los sistemas de potabilización de agua mediante un diagnóstico de su estado de cloración para elaborar un manual de operación de acuerdo al tipo de cloro y cloradores empleados en dichos sistemas de potabilización.

1. ¿Cuánto paga usted por el servicio de agua mensualmente? Marque con una X

C\$50 a C\$100 _____
C\$101 a C\$ 150 _____
C\$ 151 a C\$200 _____
C\$201 a C\$250 _____
C\$ 251 a C\$300 _____
C\$301 a C\$350 _____
C\$351 a C\$400 _____
C\$401 a mas _____
Otros _____

2. ¿Por qué vía usted obtiene el agua? Marque con una X

Pozo privado _____
Pozo público _____
Tuberías _____
Ojo de Agua _____
Lagos _____
Ríos _____
Lagunas _____
Cisternas _____
Otros (Especifique) _____

3. ¿Les gusta el sabor del agua clorada?

Si _____

No _____, ¿Por qué?

4. ¿Tiene acceso al agua potable las 24 horas del día?

Si _____

No _____

Si su respuesta fue no, especifique _____

5. ¿Usted conoce la calidad de agua que recibe?

Si _____

No _____

6. ¿Recibe el agua todos los días o exactamente qué día(s)?

7. ¿Qué cantidad recibe de agua?

8. ¿Cómo almacenan el agua?

9. ¿Padecen de alguna enfermedad?

10. ¿Qué acciones toman cuando se enferma alguien de la casa?

11. ¿Cuántas personas viven en la casa? ¿Cuántas trabajan?

Comentarios Adicionales

B.2 Centro de Salud

Encuesta para Centro de Salud

Buenas tardes el fin de esta encuesta es identificar las debilidades y fortalezas que afectan los procesos con cloro en los sistemas de potabilización de agua mediante un diagnóstico de su estado de cloración.

1. ¿Por qué vía usted obtiene el agua? Marque con una X

Pozo privado_____

Pozo público_____

Tuberías_____

Ojo de Agua_____

Lagos_____

Ríos_____

Lagunas_____

Cisternas_____

Otros (Especifique)_____

2. ¿Les gusta el sabor del agua clorada?

Si_____

No_____

3. ¿Tiene acceso las 24 horas del día?

Si_____

No_____

Si su respuesta fue no especifique_____

4. ¿Se da el servicio de agua todos los días o que día(s)?

5. ¿Qué enfermedades se han presentado en la comunidad?

6. ¿Cuál es el Índice de tasa de mortalidad y morbilidad por EDA? ¿De qué período a qué período?

7. ¿Cuánto paga el centro por el servicio de agua mensualmente? Marque con una X

C\$50 a C\$100_____

C\$101 a C\$ 150_____

C\$ 151 a C\$200_____

C\$201 a C\$250_____

C\$ 251 a C\$300_____

C\$301 a C\$350_____

C\$351 a C\$400_____

C\$401 a mas _____

Otros_____

8. ¿Cómo almacenan el agua?

Comentarios Adicionales

B.3 Prestadores de Servicios (CAPS)

Encuesta para Prestadores de Servicios

Buenas tardes el fin de esta encuesta es para hacer identificar las debilidades y fortalezas que afectan los procesos con cloro en los sistemas de potabilización de agua mediante un diagnóstico de su estado de cloración dichos sistemas de potabilización.

1. ¿Le molesta el olor a cloro en el punto de cloración?

Si_____

No_____

2. ¿Cada cuánto les dan mantenimiento a los cloradores?

Diario_____

Semanal_____

Quincenal_____

Mensual_____

Anual_____

Si su respuesta fue no. Diga el ¿Por qué? _____

3. ¿Quiénes son los proveedores del cloro?

4. ¿Tienen problema del uso de cloro en verano o en invierno? ¿Usan la misma cantidad de cloro?

5. ¿Cuánto cuesta el servicio de cloración? Marque con una X

C\$50 a C\$100_____

C\$101 a C\$ 150_____

C\$ 151 a C\$200_____

C\$201 a C\$250_____

C\$ 251 a C\$300_____

C\$301 a C\$350_____

C\$351 a C\$400_____

C\$401 a mas _____

Otros_____

6. ¿Cómo es el acceso del punto donde hacen la cloración?
7. ¿Se da el servicio de agua todos los días o que día(s)?
8. ¿Qué cantidad de agua recibe la población?
9. ¿Cuál es el cloro que usan y cuál es su dosis?
10. ¿Han tenido problemas con el abastecimiento del cloro? Si su respuesta es no
¿Cómo le hacen?
11. ¿Cuáles son sus ingresos semanales por ser CAPS? Marque con una X

C\$100 a C\$200 _____
C\$201 a C\$300 _____
C\$301 a C\$400 _____
C\$401 a C\$500 _____
C\$501 a C\$600 _____
C\$601 a C\$700 _____
C\$701 a C\$800 _____
C\$801 a C\$900 _____
C\$901 a C\$1000 _____
C\$1001 a mas _____

12. ¿Cuánto tiempo almacenan el cloro desde que lo obtienen y como lo hacen?
13. ¿Cuál es el caudal del sistema de tratamiento de agua?
14. ¿Cuánto vale la bomba o el Clorador del sistema?

Comentarios Adicionales

B.4 Distribuidores de Cloro

Encuesta Para Distribuidores de Cloro

Esta encuesta tiene como objetivo conocer su experiencia como proveedores de cloro con el fin de identificar las debilidades y fortalezas que afectan los procesos de cloración en los sistemas de potabilización de agua mediante un diagnóstico de su estado actual de cloración

1. ¿A quiénes proveen el cloro para las comunidades?
2. ¿Qué tipo de cloro les vende a ellos? ¿Cuánto? ¿Con que frecuencia?
3. ¿Les dan mantenimiento a los cloradores?
4. ¿Cada cuánto les dan mantenimiento a los cloradores?

Diario_____

Semanal_____

Quincenal_____

Mensual_____

Anual_____

Si su respuesta fue no. Diga el ¿Por qué? _____

5. ¿Qué pasa cuando los de las comunidades no tienen para pagar el cloro?
6. ¿Tienen altos y bajos en las ventas del cloro en verano o en invierno?
7. ¿Cuánto cuesta el servicio de cloración, incluyendo el equipamiento y el cloro por tres meses? Marque con una X
8. ¿Cómo es el acceso del punto donde hacen la cloración?
9. ¿Usted sabe la calidad del agua de la comunidad a la que le provee el cloro?
10. ¿Se da el servicio de agua todos los días o que día(s)?
11. ¿Qué cantidad reciben de agua?

12. ¿Cuál es el cloro que usan y cuál es su dosis?
13. ¿Han tenido problemas con el abastecimiento de su producto? Si es Si. Diga ¿Qué acciones toma?
14. ¿Usted ha capacitado o le ha dado charla a las comunidades donde vende el cloro?
15. ¿Cuánto tiempo almacenan el cloro desde que lo obtienen y como lo hacen?

Comentarios Adicionales

B.5 Operarios

Encuesta para Operarios

Buenas tardes el fin de esta encuesta es identificar las debilidades y fortalezas que afectan su trabajo diario como operadores de los sistemas de abastecimiento.

1. ¿Le molesta el olor a cloro en el punto de cloración?

Si_____

No_____

2. ¿Cada cuánto les dan mantenimiento a los cloradores?

Diario_____

Semanal_____

Quincenal_____

Mensual_____

Anual_____

Si su respuesta fue no. Diga el ¿Por qué? _____

3. ¿Quiénes son los proveedores del cloro?

4. ¿Tienen problema del uso de cloro en verano o en invierno? ¿Usan la misma cantidad de cloro?

5. ¿Cuánto cuesta el servicio de cloración? Marque con una X

C\$50 a C\$100_____

C\$101 a C\$ 150_____

C\$ 151 a C\$200_____

C\$201 a C\$250_____

C\$ 251 a C\$300_____

C\$301 a C\$350_____

C\$351 a C\$400_____

C\$401 a mas _____

Otros_____

6. ¿Cómo es el acceso del punto donde hacen la cloración?
7. ¿Se da el servicio de agua todos los días o que día(s)?
8. ¿Qué cantidad de agua recibe la población?
9. ¿Cuál es el cloro que usan y cuál es su dosis?
10. ¿Han tenido problemas con el abastecimiento del cloro? Si su respuesta es no
¿Cómo le hacen?
11. ¿Cuáles son sus ingresos semanales por ser operarios? Marque con una X

C\$100 a C\$200 _____
C\$201 a C\$300 _____
C\$301 a C\$400 _____
C\$401 a C\$500 _____
C\$501 a C\$600 _____
C\$601 a C\$700 _____
C\$701 a C\$800 _____
C\$801 a C\$900 _____
C\$901 a C\$1000 _____
C\$1001 a mas _____

12. ¿Cuánto tiempo almacenan el cloro desde que lo obtienen y como lo hacen?
13. ¿Cuál es el caudal del sistema de tratamiento de agua?
14. ¿Cuánto vale la bomba o el Clorinador del sistema?

Comentarios Adicionales



**MANUAL de OPERACIÓN
para la DESINFECCIÓN
en el ÁMBITO RURAL**



INDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
EL AGUA EN LA NATURALEZA	3
Composición Química	4
Ciclo Hidrológico	5
Presentación del Agua	6
Contaminación del Agua	7
INTEGRALIDAD DE LOS SISTEMAS RURALES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO	9
Agua-Saneamiento y Salud	10
Sistema de Abastecimiento.....	11
DESINFECCION DEL AGUA	13
¿En qué consiste la Desinfección?	14
Factores que Influyen en la Desinfección	15
¿Qué es el Cloro?	16
Compuesto del Cloro	17
Hipoclorito de Sodio (NaOCl).....	17
Hipoclorito de Calcio (Ca(OCl) ₂)	17
Demanda de Cloro	17
Cloro Residual	18
Dosis de Cloro	19
Concentración del Cloro	20

“Manual de Operación para la Desinfección en el Ámbito Rural”

HIGIENE Y SEGURIDAD OCUPACIONAL	21
Manejo Seguro del Cloro	22
Equipo de Protección Personal (EPPs)	25
OPERACIÓN DEL PROCESO DE DESINFECCIÓN.....	26

“Manual de Operación para la Desinfección en el Ámbito Rural”



PRESENTACIÓN

El presente “Manual de Operación para la Desinfección en el Ámbito Rural” es una herramienta de apoyo y consulta para los operarios de los sistemas rurales de abastecimientos de agua potable , basado en las visitas a los sistemas, en el análisis observacional y las entrevistas que se tuvieron con los operadores de los sistemas.

Con el fin de resolver la problemática del acceso al agua segura y de calidad se propone este manual para proveer los conocimientos técnicos de la desinfección a los operadores de los sistemas de abastecimiento de agua potable en el ámbito rural.

Dicho manual tiene como objetivo brindar las orientaciones gráficamente paso a paso de una manera sencilla para que los operadores de los sistemas puedan preparar soluciones, aplicarla, hacer un monitoreo de como está el cloro y el buen uso del equipo de seguridad; todo esto con el fin de cumplir con el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 6 (ODS 6) de cara a 2030.

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua que se consume en una localidad está determinada entre otros factores por la calidad de la fuente, el tratamiento que se aplica para potabilizarla, el estado de las instalaciones físicas y de los equipos, la disponibilidad de los recursos necesarios para el funcionamiento de las instalaciones de tratamiento y la disponibilidad del personal para operar y mantener adecuadamente dichas instalaciones.

Es tan importante disponer de los recursos materiales, instalaciones y equipos como el saber utilizarlos, operarlos y mantenerlos adecuadamente para cumplir con el objetivo de suministrar agua potable a la comunidad. Ser operador de una planta de potabilización es un oficio al cual le debe ser reconocida su trascendencia por la comunidad, las alcaldías y por el mismo operador.

El acceso a los servicios de agua potable y saneamiento constituye un derecho humano reconocido por las Naciones Unidas, debido a que es fundamental para mantener la buena salud de las personas. Su limitado acceso o la inadecuada calidad de la prestación del servicio, representan un grave riesgo para la salud humana, en especial de los niños, adultos mayores y personas con la salud disminuida.

El manual está dirigido a operadores de los sistemas rurales de abastecimientos de agua potable que actualmente desempeñan o se inician en el oficio.

“Manual de Operación para la Desinfección en el Ámbito Rural”

DESTINATARIOS

El “Manual de Operación para la Desinfección en el Ámbito Rural” va dirigido a operarios de los sistemas rurales de abastecimientos de agua potable

Se considera necesario un nivel de escolaridad de educación media para la apropiación del material producido.

PROPÓSITOS

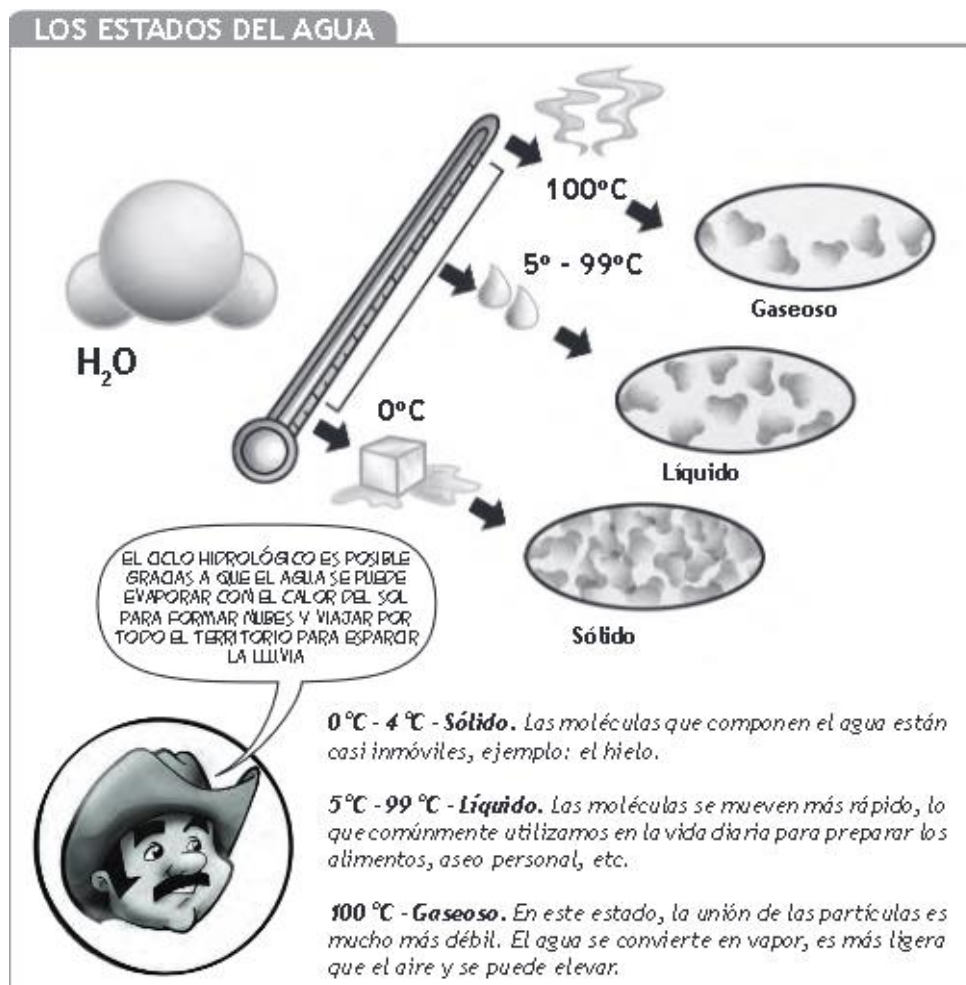
Capacitar a los operarios en: preparar soluciones de cloro y aplicarla, pesar cantidades de cloro, cambiar de concentración, higiene y seguridad ocupacional y mediciones de parámetros como el cloro libre para lograr obtener una desinfección segura.



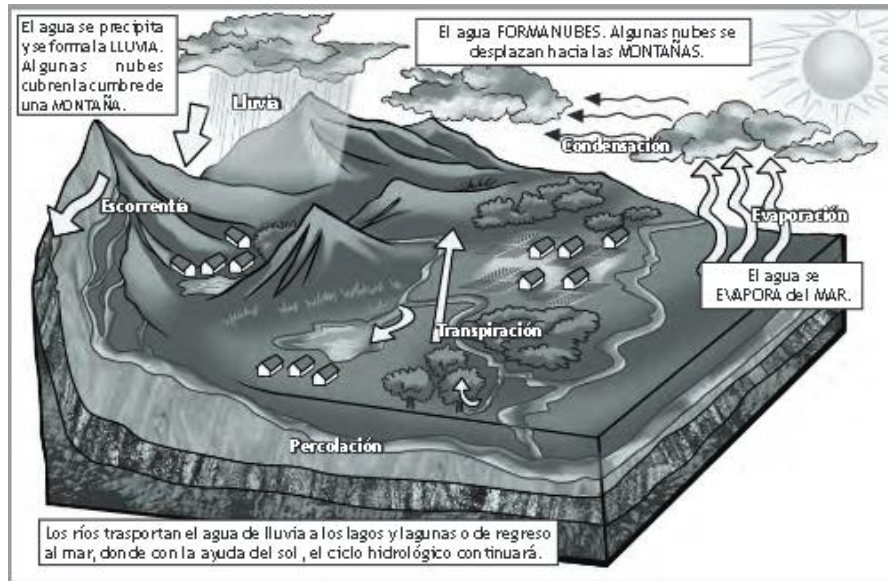
El Agua en la Naturaleza

COMPOSICIÓN QUÍMICA

El agua está constituida por dos átomos de Hidrógeno y uno de Oxígeno, ambos son elementos muy comunes en la naturaleza y podemos encontrarlos hasta en el aire que respiramos. Para formar agua los átomos están unidos por enlaces que cambian según la temperatura, lo que podemos comprobar en nuestra vida diaria cuando encontramos agua convertida en vapor, líquido o hielo.



CICLO HIDROLÓGICO



Cuando la energía del sol calienta el agua de mar o de cualquier otra superficie donde exista agua, genera vapor, que es más ligero que el viento, éste se eleva comenzando el viaje. Con el ciclo hidrológico, el agua da forma al paisaje, formando cuencas, acuíferos y otros cuerpos de agua superficiales.

- **Condensación:** es cuando el vapor de agua se convierte en nube, que origina la precipitación. Se tienen que presentar las condiciones meteorológicas adecuadas para que haya condensación.
- **Lluvia o precipitación:** El agua cae de las nubes en forma de lluvia, granizo o nieve. Esta agua escurre formando ríos o lagos, regando la flora del territorio.
- **Escorrentía:** Una parte del agua será aprovechada por los seres vivos; otra escurrirá por el terreno hasta llegar a un río, un lago o al océano. A este fenómeno se le conoce como escorrentía.
- **Transpiración:** En las plantas, el agua viaja desde la raíz hasta las hojas y flores movilizándolas y evaporándose hacia la atmósfera para reintegrarse al ciclo hidrológico.
- **Percolación:** Es la infiltración de agua, gracias a determinado tipo de suelo, formando capas de agua subterránea.

“Manual de Operación para la Desinfección en el Ámbito Rural”

PRESENTACIÓN DEL AGUA

Considerando las consecuencias del uso del agua líquida sobre la salud, conviene definirla en sus diversas formas de presentación en la naturaleza.



En seguida nos referimos a cada una de estas presentaciones:

✓ Agua Pura:

Es el agua químicamente pura, sin compuestos disueltos o en suspensión. Dada su alta capacidad para disolver a otros compuestos, el agua no se encuentra pura en la naturaleza.

✓ Agua Cruda:

Así se denomina el agua que no ha sido sometida a ningún proceso de tratamiento.

✓ Agua Potable:

El agua adecuada para el consumo por sus características físicas, químicas y bacteriológicas. No afecta la salud de los seres vivos, no produce rechazo y no ocasiona daño a las tuberías y otros materiales.

✓ Agua Contaminada:

Es el agua que ha recibido bacterias o sustancias tóxicas que la hacen inadecuada para la bebida y el aseo corporal, aún cuando su apariencia sea la de agua limpia. En ocasiones contiene desechos humanos, industriales y otros provenientes de la contaminación del medio.

“Manual de Operación para la Desinfección en el Ámbito Rural”

✓ Agua Atmosférica: está presente en la atmósfera en varias formas:

- Gaseosa: Como vapor de agua.
- Líquida: Como la lluvia.
- Sólida: Como los cristales de hielo que forman la nieve y el granizo.

En la atmósfera permanecen enormes cantidades de vapor que luego se convierten en agua lluvia.

✓ Agua Superficiales:

Es el agua de los manantiales, quebradas, ríos, lagos, embalses, mares y océanos, que cubre las tres cuartas partes de la superficie terrestre; el 1 % de esta cantidad corresponde al agua dulce, la cual es indispensable para satisfacer nuestras necesidades corporales.

✓ Agua Subterránea:

Es el agua que se infiltra en el suelo formando depósitos o almacenamientos. Se capta a través de pozos o aljibes.

CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Cualquiera que sea el uso que le demos, siempre vamos a alterar la naturaleza del agua, esto se llama contaminación. En las comunidades, los desechos líquidos están constituidos principalmente por las aguas de abastecimiento después de haber pasado por distintas actividades del ser humano.

Sin embargo, estos desechos se componen básicamente de agua con sólidos orgánicos disueltos. Cuando estas aguas contaminadas son vertidas a cuerpos de agua sin recibir el tratamiento adecuado, afectan ríos, arroyos, lagunas y presas impactando tarde o temprano en la vida de nosotros.

En el caso de las aguas de desecho de origen agrícola, los contaminantes van más allá de los residuos orgánicos.

A continuación, veremos algunos tipos de contaminantes que se pueden encontrar en las aguas.

TIPOS DE CONTAMINANTES

- **CONTAMINACIÓN FÍSICA.** Son sustancias sólidas que pueden ser eliminadas por métodos relativamente sencillos. A este grupo pertenecen las grasas, arenas, papeles, plástico y basura que puede detectarse a simple vista.
- **CONTAMINACIÓN QUÍMICA.** Puede ser de origen orgánico e inorgánico. Son compuestos de tamaño microscópico, que se disuelven en el agua, tales como: pesticidas, insecticidas, etc. El tratamiento de estos contaminantes puede ser más complejo.
- **CONTAMINACIÓN BIOLÓGICA.** Son producidas por materia viva, puede tratarse de microorganismos patógenos nocivos o no perjudiciales. Son los principales causantes de enfermedades como cólera, salmonelosis, hepatitis y amibiasis.



Pozos o fuentes de almacenamientos abiertos o mal tapados.



Uso inadecuado de sanitarios, fosas sépticas o estercoleros.



Utilización de productos agroquímicos como plaguicidas.



Integralidad de los Sistemas Rurales de Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento

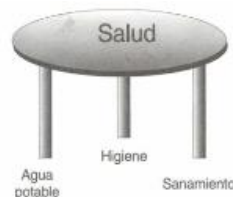
AGUA-SANEAMIENTO Y SALUD

El abastecimiento de agua y el saneamiento son elementos fundamentales para la vida comunitaria y un adecuado desarrollo, pues influyen en la salud y por tanto en labores productivas específicas. Aunque no existe una definición exacta del desarrollo, se entiende que éste es un proceso que contempla al menos salud y longevidad mejoradas, mayor productividad y niveles de vida más altos, una mayor capacidad local para la resolución de problemas y un mejor acceso a bienes y servicios esenciales.



Los beneficios para la salud de los sistemas de agua y saneamiento resultan de una calidad mejorada del agua y de adecuadas cantidades de agua, de instalaciones adecuadas de saneamiento y de cambios en el comportamiento relacionados con la higiene. El agua también proporciona un lugar de procreación para los vectores portadores de enfermedades.

El agua inadecuada para lavarse las manos y para lavar los utensilios de cocinar y prácticas de saneamiento deficientes terminan en enfermedades diarreicas. Las enfermedades y la mala salud imponen una pesada carga sobre la comunidad, la familia, el individuo y la economía. La población más afectada es la infantil y los ancianos.



No es suficiente contar con buenos sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento para reducir las enfermedades, es necesario contar con buenos hábitos de higiene.

“Manual de Operación para la Desinfección en el Ámbito Rural”

SISTEMA DE ABASTECIMIENTO

El sistema de abastecimiento tiene como objetivo suministrar agua a la comunidad, bajo los siguientes criterios:

- **Cantidad:**

Debe ser suficiente para las necesidades básicas y uso de la comunidad.

- **Calidad:**

No causar daños a la comunidad beneficiaria, cumpliendo las normas y criterios de calidad fisicoquímica y bacteriológica.

- **Continuidad:**

No faltar durante las horas diarias para las cuales fue concebida en su proyección, en acuerdo con la comunidad. En caso de algún corte para reparación de daños avisar con anticipación o cuando se presentan daños extraordinarios comunicárselos a la comunidad.

- **Cobertura:**

Todos los hogares de la comunidad que técnicamente puedan ser abastecidos deben tener acceso al sistema.

- **Costo:**

Generar costos acordes con su funcionamiento y permanencia, en relación con la situación socioeconómica de la comunidad beneficiaria.

- **Cultura del Agua:**

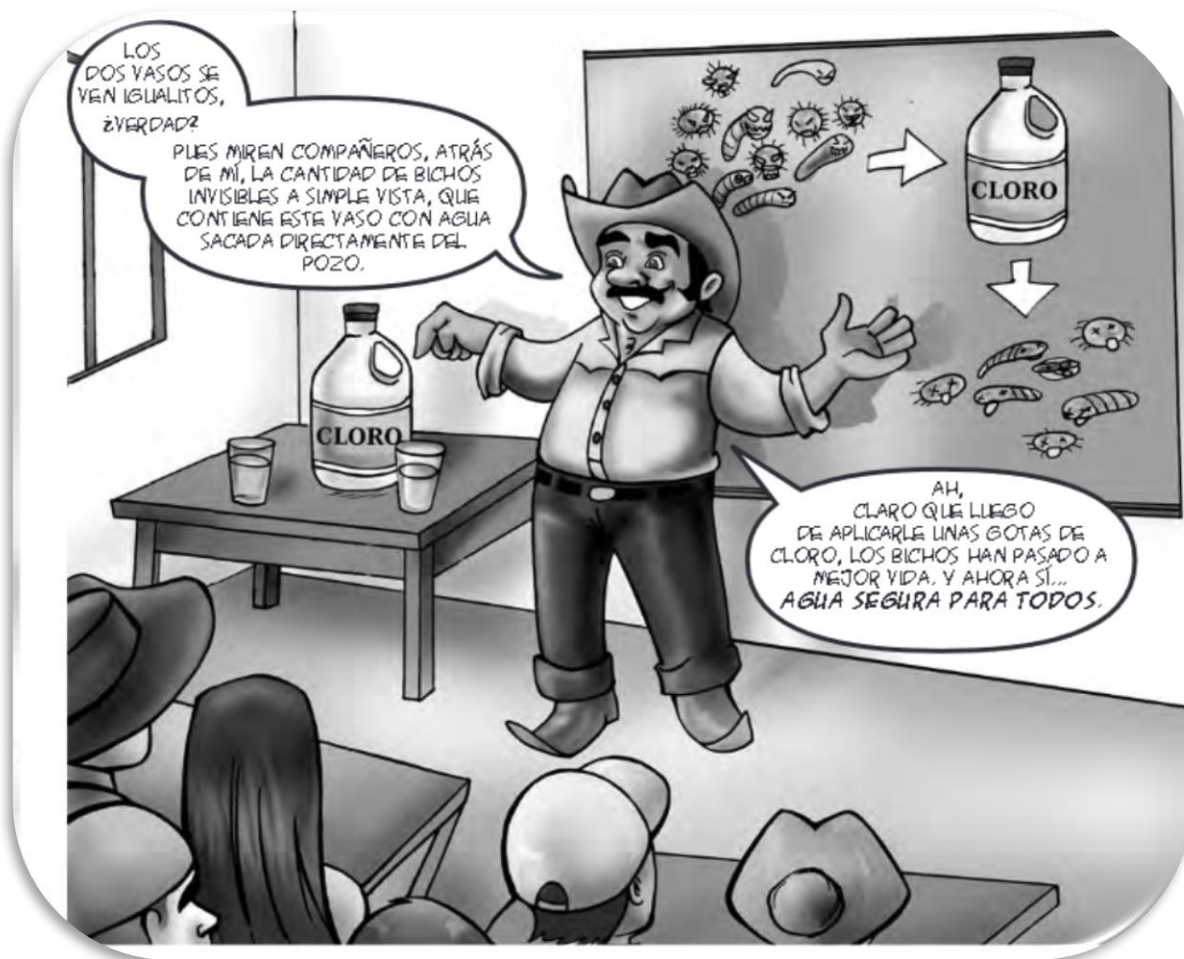
Es una concientización de la comunidad sobre el uso racional del sistema y del recurso.

“Manual de Operación para la Desinfección en el Ámbito Rural”

- Capacidad de Gestión:

Apropiación institucional que la comunidad hace para mejorar el sistema cada día, proyectando las ampliaciones, variaciones y reparaciones necesarias, buscando recursos en el ámbito local, departamental y nacional.

Un sistema de abastecimiento de agua comprende desde la fuente de abastecimiento hasta el usuario del sistema. Es importante recordar y tener en cuenta que el agua potable en cantidad suficiente no genera un gran impacto en la salud si y solo si se piensa en los sistemas de saneamiento y las adecuadas prácticas de higiene.



Desinfección del Agua

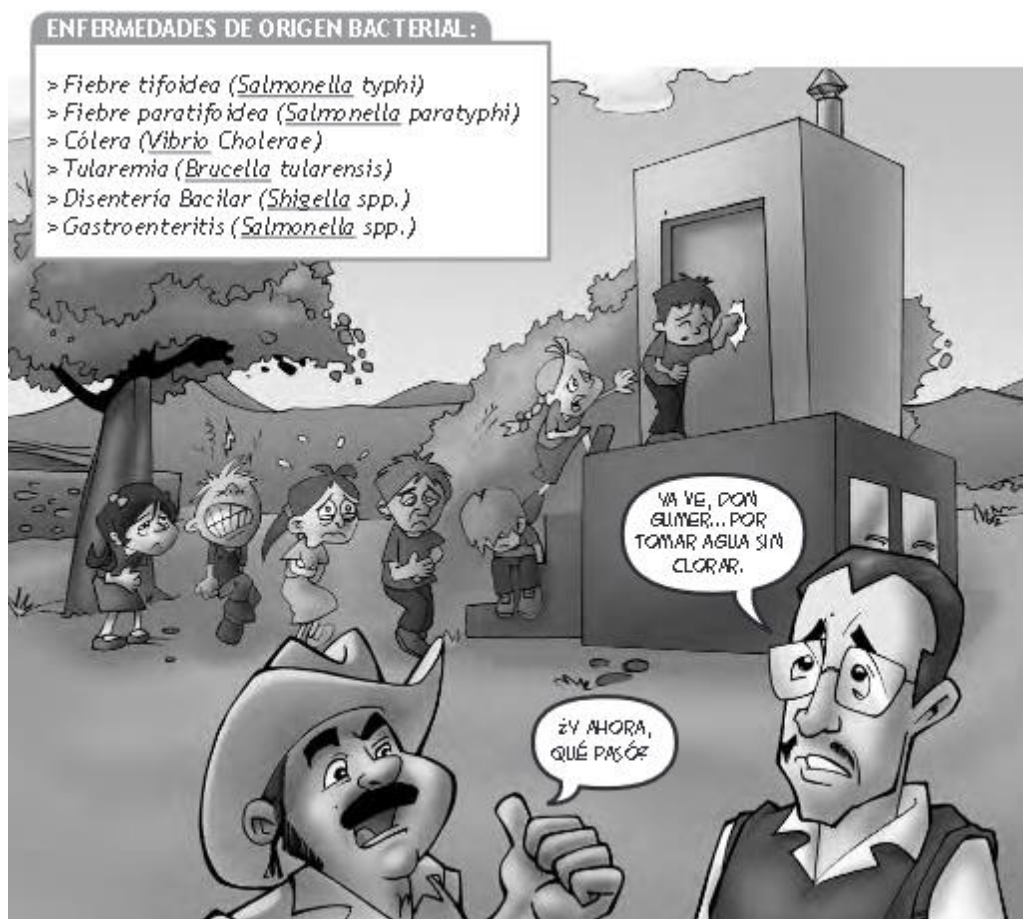
“Manual de Operación para la Desinfección en el Ámbito Rural”

¿EN QUE CONSISTE LA DESINFECCIÓN?

La desinfección es una operación de gran importancia para asegurar la inocuidad del agua potable. Su aplicación es obligatoria en todo sistema de abastecimiento de agua para consumo humano. Consiste en la destrucción de microorganismos patógenos presentes en el agua antes de ser abastecida a la población usuaria. Se realiza mediante agentes químicos o físicos y debe tener un efecto residual en el agua potable, a fin de eliminar el riesgo de cualquier contaminación microbiana posterior a la desinfección.

En el ámbito rural es típico realizar la cloración en el reservorio de almacenamiento

El agua que no ha sido hervida o potabilizada, es un peligro para la salud y para la vida, ya que el agua cruda es el hábitat de microorganismos y sustancias no orgánicas que provocan enfermedades y en casos extremos, hasta la muerte. La mayoría de las enfermedades que atacan al sistema digestivo, están relacionadas con estos microorganismos. Clorar el agua reduce la amenaza de estos parásitos.



> Las bacterias en el agua generalmente son resultado del contacto del agua con heces fecales.

“Manual de Operación para la Desinfección en el Ámbito Rural”

La desinfección del agua es una de las tareas más delicadas en los sistemas de abastecimientos de agua potable.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DESINFECCIÓN

Hay muchos factores que influyen en la desinfección del agua y que por lo tanto deben tenerse en cuenta, estos son:

- La naturaleza y número de los organismos patógenos que van a ser destruidos.
- El tipo y concentración del desinfectante usado.
- La temperatura del agua, entre más alta sea, es más rápida la desinfección.
- El tiempo de contacto de los desinfectantes con el agua.
- La naturaleza del agua que va a ser desinfectada.
- El pH (acidez, alcalinidad) del agua.
- La mezcla; una mezcla buena asegura la adecuada dispersión del desinfectante.
- El punto de aplicación, normalmente después de la filtración y antes de la corrección del pH.
- Turbiedad

El cloro como el desinfectante más usado se presenta la información sobre cuatro de los factores más importantes, anteriormente mencionados:

Temperatura

La temperatura del agua afecta considerablemente la acción desinfectante del cloro residual.

Tiempo de Contacto

- Es el tiempo en que el cloro está en contacto con el agua.
- En la desinfección del agua se debe tener un tiempo de contacto suficiente para que pueda ejercer su función desinfectante.

pH

- Esta relacionado al grado de acidez o basicidad que tiene el agua.
- La desinfección del agua mediante cloración es efectiva a pH alrededor del valor 7 (pH neutro). Su efectividad es muy reducida a pH mayores a 8.

“Manual de Operación para la Desinfección en el Ámbito Rural”

- El agua para consumo humano debe tener un pH entre 6,5 y 8,5.

Turbiedad

- Se considera una característica organoléptica de la calidad del agua potable.
- Mientras más turbia sea el agua, mayor riesgo de contaminación microbiológica o de contener otros contaminantes. No es recomendable clorar aguas con mas de 5 UNT.

¿QUÉ ES EL CLORO?



» Las casetas o salas de desinfección deben proyectarse preferentemente para ese único fin, con criterio económico, considerando la protección, ventilación y seguridad del personal y de los equipos.

Es un gas tóxico de color amarillento-verdoso de olor penetrante, especialmente se encuentra en la naturaleza combinado con otros elementos. También se encuentra en estado líquido y en esta forma puede causar quemaduras en la piel.

“Manual de Operación para la Desinfección en el Ámbito Rural”

COMPUESTO DE CLORO

- Cualquier producto que contiene cloro como uno de sus componentes.
- En la desinfección del agua los compuestos de cloro más utilizados son cloro gas (Cl_2), hipoclorito de sodio (NaOCl) e hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$).

HIPOCLORITO DE SODIO (NaOCl)

Se consigue en forma líquida con un contenido aproximado del 12% de cloro, es decir, que un litro de hipoclorito de sodio contiene 120 gramos de cloro libre puro; bajo esta forma tiene una estabilidad de uno o dos meses.

El hipoclorito se descompone por la acción de la luz y el calor, por lo tanto debe almacenarse en un recipiente opaco, en locales frescos y protegidos por la luz solar.

Es una buena opción para pequeños acueductos en zonas rurales.

Se caracteriza porque absorbe humedad de la atmósfera, es corrosivo y de olor fuerte.

HIPOCLORITO DE CALCIO ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$)

Se encuentra en forma granulada o en polvo, de color blanco y contiene aproximadamente un 70% de cloro.

Tiene una estabilidad grande dependiendo lógicamente de su empaque y almacenamiento.

Igual que el hipoclorito de sodio, la luz y el calor lo afectan.

Se caracteriza por absorber poco la humedad de la atmósfera.

DEMANDA DE CLORO

La demanda de cloro de un agua determinada es la cantidad de cloro que se necesita para que reaccione con las sustancias orgánicas y con otras que contenga. En otras palabras, la demanda de cloro es la diferencia que existe entre la cantidad de cloro que se agrega y la permanente como residual después de un determinado tiempo de contacto.

“Manual de Operación para la Desinfección en el Ámbito Rural”

La demanda de cloro varía de acuerdo con:

- La cantidad de cloro agregada
- La clase de cloro residual que se desee
- El tiempo de contacto
- La temperatura del agua
- Las características físico químicas del agua

Las determinaciones de la demanda de cloro permiten conocer la cantidad que se debe aplicar a un agua para producir un cloro residual disponible, después de un determinado tiempo de contacto. La cloración a dosis superiores al punto de quiebre conduce a la destrucción de materia orgánica y obtener un cloro residual libre.

CLORO RESIDUAL

Es el cloro libre que queda disponible después de haber efectuado la desinfección del agua, es decir, la destrucción o inactivación de los microorganismos presentes.

Cuando en una comunidad se anuncia que se va a clorar el agua, la gente piensa que ésta va a saber mal o que el cloro residual “hace daño” a la salud. Ninguno de estos supuestos es cierto. Si el cloro se aplica en cantidades adecuadas, el sabor del agua cambia, es un sabor diferente, pero no es molesto, simplemente es algo a lo que hay que acostumbrarse.

Hay que tener en cuenta que, si la dosificación es apropiada, el cloro residual, lejos de dañar a la salud, sigue activo en el agua, eliminando cualquier riesgo de infección, provocada por organismos patógenos.

El cloro tiene el poder de seguir activo después de haber tenido contacto con el agua. Gracias a esta cualidad, sigue eliminando bacterias y microorganismos presentes en ella, haciendo el consumo de agua más seguro después de haber sido aplicado.

Las normas exigen una concentración mínima de cloro residual libre en el agua potable de 0,50 mg/L.



“Manual de Operación para la Desinfección en el Ámbito Rural”

DOSIS DE CLORO

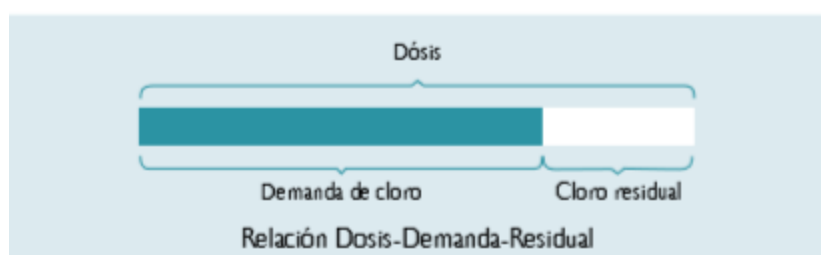
La dosis del desinfectante depende del tipo de agua a clorar. Deberá determinarse antes de poner en funcionamiento el sistema de agua potable. La determinación exacta requiere de un laboratorio y personal especializado.

Se recomienda determinar la dosis de cloro por lo menos dos veces al año, según varíe las características fisicoquímicas del agua a desinfectar.

Por ejemplo, durante la época de lluvias y épocas de estiaje (ausencia de lluvias).

La dosis de cloro para desinfectar el agua es equivalente a:

$$\text{Dosis de cloro (mg/L)} = \text{Demanda de cloro (mg/L)} + \text{Cloro residual libre (mg/L)}$$

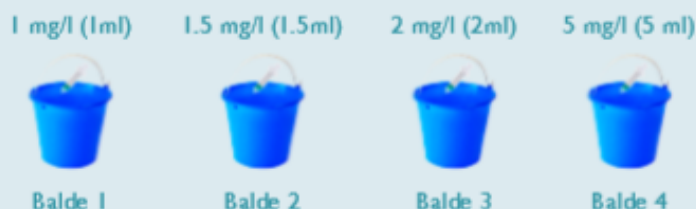


Procedimiento para determinar dosis de cloro en campo

Paso 1. Preparar una solución de cloro al 1% (10 g/L). Disolver 17g de hipoclorito de calcio al 60% o 200g de lejía al 5% en 1 litro de agua.

Paso 2. En 4 baldes plásticos graduados añadir 10 litros del agua que va a ser desinfectada.

Paso 3. Agregar con una jeringa en cada balde diferentes volúmenes de solución de cloro al 1%. En la figura como ejemplo se agregaron:



Paso 4. Esperar 30 minutos, luego medir el cloro libre en los baldes. La dosis de cloro será aquella con la que se obtiene 0.5mg/L.

“Manual de Operación para la Desinfección en el Ámbito Rural”

CONCENTRACIÓN DEL CLORO

La concentración de cloro se refiere a la cantidad de cloro en peso por volumen de agua.

La concentración se mide principalmente en las siguientes unidades:

En mg/L : 1mg/L → Indica que hay 1 mg de cloro en 1 litro de agua.

En ppm : 1ppm = 1mg/L.

En % en peso : 1% → Indica que hay 10,000mg de cloro en 1 litro de agua.

Por ejemplo

Si el hipoclorito de calcio es al 65%, quiere decir:

Que en 1kg de hipoclorito existe 0.65kg de cloro libre, es decir 650g de cloro.

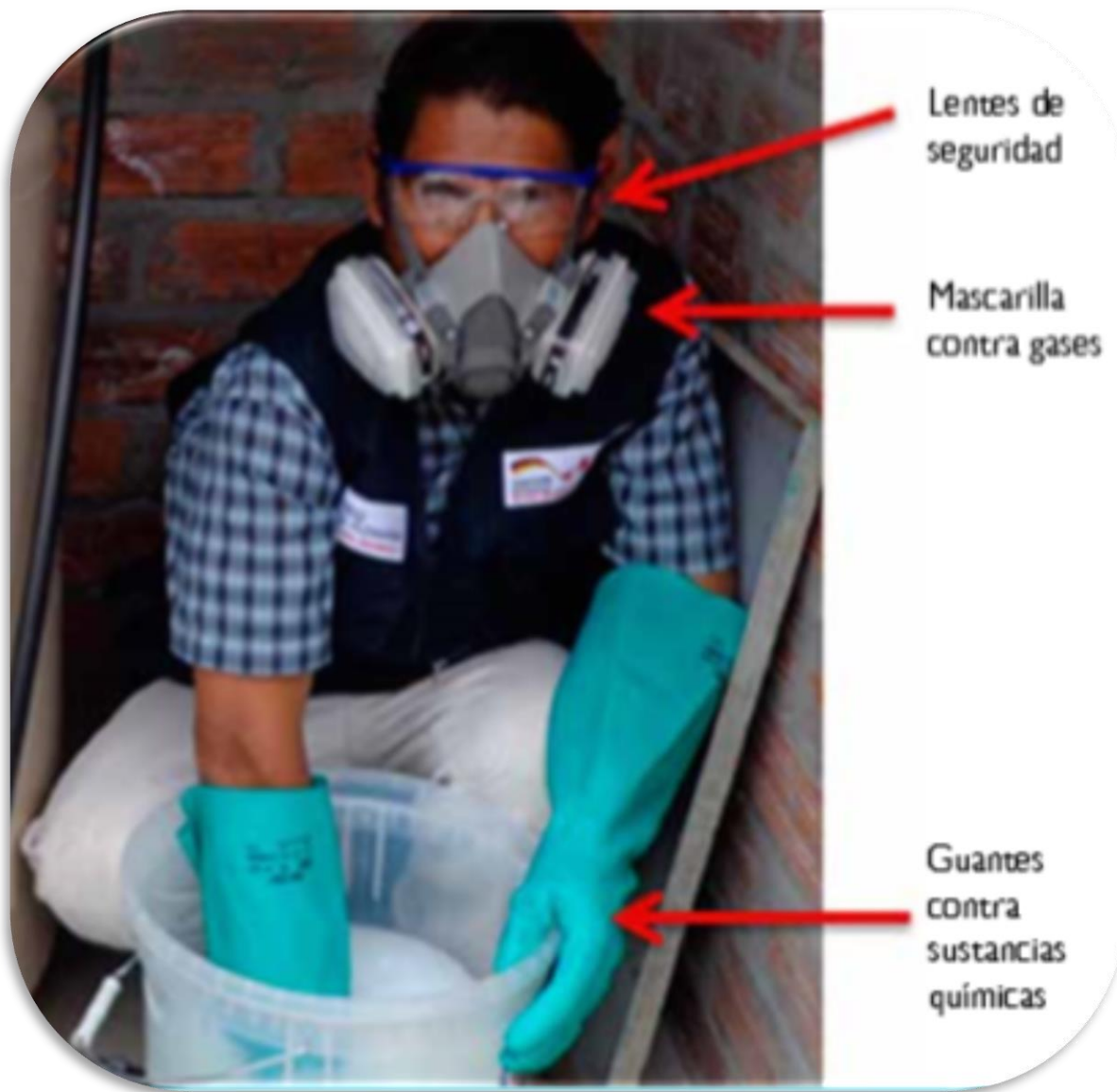
$65\% \times 1\text{kg} = 0.65\text{kg de cloro libre} = 650\text{gr de cloro.}$

Al mezclar 1kg de hipoclorito de calcio en 1 000 litros de agua, la concentración de cloro libre será:

$$\frac{650 \text{ g}}{1,000\text{litros}} = \frac{650 \times 1000 \text{ mg}}{1,000 \text{ litros}} = 650 \text{ mg/L}$$

Si el hipoclorito de sodio o lejía es al 5%, quiere decir:

Que en 1kg de lejía habrá 0.05kg de cloro = 50g de cloro libre



Higiene y Seguridad Ocupacional

“Manual de Operación para la Desinfección en el Ámbito Rural”

MANEJO SEGURO DEL CLORO

El manejo del cloro, en cualquiera de sus presentaciones, puede generar desde irritación a las mucosas de los ojos y del sistema respiratorio hasta la muerte. Cuánto más concentrado sea puede ser más dañino para la salud. Es por esto que el manejo del cloro requiere adoptar todas las medidas de seguridad que minimicen el riesgo al que se exponen las personas que lo manipulan.

Para el hipoclorito de calcio al 65%:

Exposición	Daño	Medidas de primeros auxilios
Inhalación	La inhalación de los vapores puede producir irritación interna y daño a las mucosas.	Trasladar a la víctima al aire libre. Si la respiración es difícil, suministrar oxígeno. Buscar atención médica inmediata.
Ingestión	Corroe las membranas mucosas de la boca, garganta y esófago. Puede haber perforación gástrica y peritonitis, que pueden derivar en colapso circulatorio.	¡No induzca el vómito! Administre grandes cantidades de agua si la víctima está consciente. Nunca administre nada por la boca a una persona inconsciente. Buscar atención médica inmediata.
Contacto con los ojos	Severa irritación, quemaduras o destrucción del tejido ocular.	Lave bien los ojos inmediatamente al menos durante 15 minutos, elevando los párpados superior e inferior ocasionalmente para garantizar la remoción del químico. Buscar atención médica inmediata.
Contacto con la piel	Severa irritación.	Lave la piel inmediatamente con abundante agua y jabón, por lo menos durante 15 minutos, mientras se retira la ropa y zapatos contaminados. Buscar atención médica inmediata.
Efectos sobre exposición aguda	Irritación y daños locales.	Buscar atención médica inmediata.
Efectos sobre exposición crónica	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica.	

Debido a su toxicidad, el manejo del cloro requiere de mucho cuidado en su manejo, exposición, almacenamiento y en derrames o fugas accidentales.

Se detallan las principales recomendaciones para el manejo de los productos de cloro durante todo el proceso operativo de los sistemas de abastecimiento de agua.

“Manual de Operación para la Desinfección en el Ámbito Rural”

Manejo seguro del Hipoclorito de Calcio (65%)

Objetivo	Procedimiento
<p>Importante: Lea y siga siempre las instrucciones y precauciones que se especifican en la etiqueta del producto. Adquiera siempre el producto en lugares autorizados.</p>	
Almacenaje	Siempre se debe almacenar en recipientes herméticamente cerrados y en un ambiente bien ventilado y seco.
	Mantener el producto alejado de niños o personas extrañas a su uso.
	Mantener alejado del fuego, de materiales combustibles y otras sustancias químicas.
	El hipoclorito de calcio es un agente oxidante fuerte, por tanto, no se debe almacenar cerca de materiales orgánicos, ácidos, líquidos corrosivos, otros oxidantes o materiales reactivos.
	El contacto del hipoclorito de calcio con ácidos, aceites, productos de pintura, agentes químicos (incluyendo pesticidas y herbicidas) podría causar fuegos intensos, explosiones o gases nocivos.
	Asegúrese de que ningún material que se esté quemando, tal como un cigarrillo encendido, entre en contacto con el Hipoclorito de Calcio.
Protección Personal	Se debe evitar que el producto entre en contacto con los ojos, la piel o la ropa, y no debe aspirar el polvo.
	Use siempre ventilación adecuada, utilizar gafas protectoras anti salpicaduras, ropa enteriza, guantes para uso de sustancias químicas o de nitrilo y botas de neopreno, así como una máscara protectora provista de filtros contra vapores y gases corrosivos.
	Quítese inmediatamente toda la ropa contaminada y lávela antes de volver a usarla.
Primeros auxilios	Si hay contacto con piel u ojos: Lave inmediatamente con agua fría abundante durante al menos 15 minutos. Llame o busque de inmediato a un médico.
	Si hay ingestión: Beba inmediatamente agua en gran abundancia. No induzca el vómito. Llame o busque de inmediato a un médico.
Disposición final	La disposición final debe prevenir la contaminación ambiental.
	No disponer en lugares no autorizados o que pueden ser accedidos por personas extrañas o animales.
	El usuario del hipoclorito de calcio debe disponer del material no usado, los residuos y las mezclas que lo contengan, así como también de los recipientes en los que se mezcla o se almacena dicho producto, cumpliendo todas las normas aplicables bajo su responsabilidad.

“Manual de Operación para la Desinfección en el Ámbito Rural”




Procedimiento en caso de incendio	Comuníquese de inmediato con los bomberos, el personal de defensa civil o cualquier otra instancia responsable en su localidad.
	Si existe riesgo de que el Hipoclorito de Calcio sea alcanzado por el fuego, enfíe los recipientes expuestos con grandes cantidades de agua.
	No use extintores de sustancias químicas secas.
	Si el producto ya se está quemando, use grandes cantidades de agua para extinguirlo. Los bomberos deben usar equipos de respiración con suministro independiente de aire.
Procedimiento en caso de derrames	Retire todas las fuentes de ignición.
	Utilice un respirador con cartucho de cloro y filtro contra polvos y vapores corrosivos.
	Use gafas protectoras, ropa enteriza, así como guantes de nitrilo y botas de caucho, neopreno o polivinilo de cloruro (PVC).
	Limpie para minimizar la contaminación con materiales orgánicos.
Procedimiento en caso de derrames	No devuelva el material derramado al recipiente original. Coloque en un recipiente nuevo y aisle al aire libre o dentro de una zona bien ventilada. No selle el recipiente.
	Comuníquese con el distribuidor del producto para solicitar mayor información.
	Lave cualquier material residual con agua abundante.
	Lave toda la ropa contaminada antes de volver a usarla.

“Manual de Operación para la Desinfección en el Ámbito Rural”

EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPPs)

Para los trabajos en el sistema de cloración es obligatorio el empleo de equipos de protección personal (EPPs). Las marcas indicadas en la son referenciales; en caso de optar por una marca diferente se debe procurar aquellas que estén certificadas para su uso en el manejo de cloro, gases y vapores corrosivos:

Equipos de protección personal (EPPs) de uso obligatorio durante la cloración

Equipo de Protección	Descripción y marca recomendada	
Mascarilla contra vapores corrosivos	Máscara de Media Cara Serie 6000 de la marca 3M, fabricado en Elastómero Termoplástico (TPE). Es adecuado para proporcionar protección contra partículas y una amplia variedad de gases y vapores de acuerdo con las aprobaciones de NIOSH. Con la máscara se incluyen dos Cartuchos para Vapor Orgánico/Gas Ácido 3M™ 6002 (AAD). Fuente: http://solutions.3m.com.pe	
Guantes largos de nitrilo para manejo de sustancias químicas	Guantes de nitrilo de la marca Ansell modelo Sol Vex 37-185. Adecuado para el manejo de sustancias químicas. Fuente: http://industrialcatalogue.ansell.eu/es/sol-vex-37-185-37-655 .	
Lentes de seguridad	Se deben utilizar obligatoriamente lentes de seguridad preferiblemente antisalpaduras. Fuente: http://solutions.3m.com.pe	





Operación del Proceso de Desinfección






“Manual de Operación para la Desinfección en el Ámbito Rural”

Esta actividad requiere que se cumplan con todas las medidas de seguridad para el manejo del cloro.





¡El uso de los equipos de protección personal (EPPs) es OBLIGATORIO para cuidar tu salud!

Número de Procedimiento	Procedimientos	Fotos
1	<p>Mido el caudal de ingreso al tanque de almacenamiento donde se encuentra instalado el clorador.</p> <p>Utilizo un balde graduado de 20 litros, lo lleno midiendo el tiempo. El caudal lo calculo al dividir los 20 litros entre el tiempo de llenado en segundos o minutos. Repito tres veces este mismo procedimiento, el caudal será la suma de los caudales de las tres repeticiones dividido entre tres. Uso los equipos de seguridad para protegerme. Anoto mis resultados en el libro o bitácora.</p>	
2	<p>Calculo el peso del desinfectante usando esa ecuación:</p> $P = \frac{D \times Q \times V}{q \times \%}$ <p>D: Dosis de cloro a aplicar al agua en mg/L Q: Caudal del agua a desinfectar en L/s q: Caudal de la solución clorada en L/s V: es el volumen del tanque clorador %: se refiere a la concentración del producto del cloro a utilizar</p> <p>Anoto mis resultados en el libro o bitácora.</p>	
3	<p>Verifico que la turbiedad no sea mayor a 5 UTN y el pH mayor de 7,5. Anoto mis resultados en el libro o bitácora.</p>	


“Manual de Operación para la Desinfección en el Ámbito Rural”

Número de Procedimiento	Procedimientos	Fotos
4	Preparo la solución de cloro con agua limpia.	
5	Diluyo el peso o volumen del desinfectante calculado en el paso 2 en 20 litros de agua. Si el desinfectante empleado es hipoclorito de calcio nunca coloco el hipoclorito de calcio en el tanque donde preparo la solución y después agrego agua, ya que se pueden generar vapores un poco tóxicos. Siempre debo colocar el agua primero y hasta después adicionar el compuesto de cloro. Nunca disuelvo más de 200 gramos por cada 20 litros de agua.	
6	Repito las tareas previas hasta tener todo el cloro disuelto. En el caso del hipoclorito de calcio lo preparo con un día de anterioridad y solo tomo la parte líquida.	
7	Comienzo a dosificar el cloro en el tanque de almacenamiento o a la sarta de bombeo.	
8	Después de pasado 30 minutos, tomo una muestra de agua y le mido el cloro libre. Anoto mis resultados en el libro o bitácora.	

“Manual de Operación para la Desinfección en el Ámbito Rural”

Número de Procedimiento	Procedimientos	Fotos
Actividades Diarias		
9	Diariamente reviso el funcionamiento del sistema de cloración	
10	Si encuentro que algo que no está bien realizo el mantenimiento preventivo o correctivo del sistema de cloración. Sino logro solucionar aviso a mi presidente o presidenta del CAPS para que llame al UMASH y nos ayude a resolver el problema. Sé que no puedo abastecer agua sin clorar.	
11	Si detecto en la vivienda de control una concentración de cloro libre menor a 0,5 mg/L le adiciono 10% más del peso preparado inicialmente o en forma líquida y lo disuelvo en el agua. Vuelvo a medir el cloro residual. Anoto mis resultados en el libro o bitácora.	
12	Si en la vivienda de control la concentración de cloro libre es mayor a 1 mg/L llamo al presidente p presidenta del CAPS para que él o la UMAS nos ayude a calcular nuevamente la dosis de cloro y mido el cloro libre para asegurarme que este en 0,5 mg/L. Anoto mis resultados en el libro o bitácora.	

“Manual de Operación para la Desinfección en el Ámbito Rural”

Número de Procedimiento	Procedimientos	Fotos
Actividad Mensual		
13	Mensualmente recibo la visita del UMASH y del MINSA para verificar que estoy haciendo un buen trabajo en la operación del sistema y en el proceso de cloración. Les muestro mi libro de resultados.	
14	Mensualmente lavo el tanque de almacenamiento de cloro, cepillo las paredes y lavo las paredes con cloro. Me fijo si existen rajaduras en el piso, la tapa o las paredes.	